

Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Daniela Sofia da Silva Fernandes Coutinho

**Revestimentos Biológicos em Pedras
Graníticas do Património Construído:
Ocorrência, Limpeza e Prevenção**

Setembro de 2009



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Daniela Sofia da Silva Fernandes Coutinho

**Revestimentos Biológicos em Pedras
Graníticas do Património Construído:
Ocorrência, Limpeza e Prevenção**

Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil
Área de Especialização Materiais, Reabilitação e
Sustentabilidade da Construção

Trabalho efectuado sob a orientação do
Professor Doutor Rui Miguel Ferreira
Professor Doutor Carlos Alberto Simões Alves

Setembro de 2009

AGRADECIMENTOS

Queria agradecer aos meus orientadores, Prof. Carlos Alberto Simões Alves e Prof. Rui Miguel Ferreira, por todo o apoio, orientação e colaboração para a realização deste trabalho. Agradeço toda a disponibilidade prestada para esclarecimento de dúvidas e sugestões que contribuíram ao longo da elaboração desta tese de mestrado.

Um obrigado eterno ao Sérgio pelo empenho, colaboração e força que sempre me deu. Ele dá-me coragem para enfrentar tudo na vida, é o meu talismã. “És uma pessoa maravilhosa. Obrigada por seres assim!”.

Queria agradecer em especial aos meus pais por tudo o que têm feito por mim até hoje, ao meu irmão, à Lílíana, aos pais do Sérgio e restante família por todos os conhecimentos e lições de vida que me ofereceram.

Agradeço a todos os amigos, o amor e o companheirismo. Um obrigado especial à Sofia, à Rosana, ao Hugo e ao Detalhe Atelier pela dedicação e colaboração nesta dissertação. “Sois espectaculares!”.

O meu sincero agradecimento à Eng.^a Amélia Torres Pereira e à Fénix - Projectos de Engenharia Civil Unipessoal, Lda., pelas tardes de sexta-feira concedidas para realização deste mestrado.

Também agradeço à Confraria do Bom Jesus por me ter autorizado a realização de ensaios, a todos os técnicos com quem me cruzei e a todas as empresas, Quimidois - Indústria Química, Lda., Tradibau, Arquitectura e Engenharia, Lda. e Norquímia, S.A., pelo fornecimento dos produtos para realização de ensaios de campo.

Este trabalho decorreu no âmbito das actividades do Centro de Território, Ambiente e Construção e do Centro de Investigação Geológica, Ordenamento e Valorização de Recursos, unidades de investigação da Universidade do Minho apoiadas pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia através do programa de financiamento plurianual que é suportado por verbas da União Europeia (FEDER) e do Orçamento de Estado da República Portuguesa. Também o meu sincero agradecimento.

Agradeço todo o esforço e apoio a todos os envolvidos nesta caminhada. Um obrigado a todos.

RESUMO

A pedra é um material de construção muito usado nas construções antigas e recentes. A sua conservação suscita desde sempre um grande interesse devido à complexidade e ao desconhecimento de determinados fenómenos a que está sujeita.

Num tempo de grande preocupação com a reabilitação, o desfiguramento dos edifícios e monumentos em pedra por crescimentos biológicos ganha maior protagonismo. Nesta perspectiva surge a necessidade de investigar as causas do crescimento biológico em substratos de pedra e as intervenções que devem ser tomadas de modo a eliminar e prevenir esta patologia nos edifícios.

No presente trabalho apresentam-se estudos de padrões de colonização biológica em obras recentes das cidades de Braga, Guimarães e Vigo, permitindo uma avaliação da importância da heterogeneidade das construções. Foram estudados revestimentos biológicos que podiam incluir microrganismos (como algas e fungos), líquenes e musgos (não foram consideradas plantas vasculares nem animais).

No âmbito da tentativa de contribuir para a discussão das opções de intervenção foram, também, realizados ensaios de campo de limpeza e prevenção de pedras graníticas na Capela da Ascensão – Bom Jesus do Monte, Braga, comparando a simples limpeza mecânica com tratamentos químicos.

Na manutenção dos edifícios é necessário avaliar a viabilidade económica de intervenções técnicas, avaliando os custos dos possíveis tratamentos. Com base nos ensaios de campo tentou-se construir um modelo de avaliação de custos das diferentes opções interventivas consideradas.

Nas obras recentes estudadas, os revestimentos biológicos são o principal tipo de patologia da pedra e aquele que, em condições habituais, mais rapidamente se desenvolve. As observações realizadas permitem discutir algumas tendências de ocorrência destes revestimentos biológicos, nomeadamente em termos de possíveis relações com opções construtivas, de forma a ponderar potenciais implicações em termos de projecto de obra, assim como em termos de possíveis estratégias de remoção e prevenção destes revestimentos que podem ser relevantes para intervenções de restauro e conservação.

ABSTRACT

Stone is a material widely used in old buildings and recent buildings. Its conservation has always raised a great interest due to the complexity and lack of knowledge regarding the phenomena that affect these materials.

In a time of great concern for rehabilitation, the defacement of buildings and monuments in stone by biological growths acquires a greater conspicuousness. In this connection arises the need to investigate the causes of biological growth on stone substrates of stone, and the measures that must be undertaken to eliminate and prevent this disease in the buildings.

In this work is present a study of patterns of biological colonization in recent works of the cities of Braga, Guimaraes and Vigo, allowing an assessment of the importance of heterogeneity of the buildings. We studied biological coatings that could include micro-organisms (such as algae and fungi), lichens and mosses (vascular plants and animals were not considered).

As part of an attempt to contribute to the discussion of intervention options were also conducted field trials of cleaning and prevention treatment on granite stones of the Chapel of the Ascension - Bom Jesus do Monte, Braga, comparing the simple mechanical cleaning with chemical treatments (in addition to mechanical cleaning).

Regarding the maintenance of buildings, it is necessary to assess the economic viability of technical interventions, evaluating the costs of possible treatments. Based on the field tests an attempt was made to build a model for assessing the cost of the different intervention procedures that were considered.

In the recent architectural works studied, biological coatings are the main decay features affecting the stones and the one that, under normal working conditions, develops faster. The observations collected allow the discussion of some trends regarding the occurrence in prevalence of organic biological coatings, particularly in terms of possible relationships with constructive options, in order to consider potential implications for construction projects, as well as for possible strategies of prevention and cleaning of these coatings that may be relevant to interventions of restoration and conservation.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO 1 - Introdução	1
1.1 Considerações Gerais	1
1.2 Objectivos	2
1.3 Organização da Dissertação	3
2. CAPÍTULO 2 - DECAIMENTO BIOLÓGICO DA PEDRA	5
2.1 Processos de Biodeterioração	5
2.1.1. Processos Físicos	5
2.1.2. Processos Químicos	6
2.1.3. Processos estéticos	7
2.2 Organismos contribuintes para Decaimento Biológico da Pedra	8
2.2.1 Bactérias	9
2.2.2. Fungos	11
2.2.3. Algas e Cianobactérias	13
2.2.4. Líquenes	16
2.2.5. Musgos	20
2.2.6. Plantas Superiores	22
2.3. Agentes e Factores da Biodeterioração	25
2.3.1 Água	26
2.3.2. Luz	27
2.3.3. Temperatura	27
2.3.4. Características do Substrato	28
2.3.5. Características da Atmosfera	28
3. CAPÍTULO 5 - MÉTODOS DE LIMPEZA E PREVENÇÃO	31
3.1 Métodos Mecânicos	34
3.2 Métodos Físicos	34
3.3 Métodos Químicos	37
3.4 Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho	41
3.4.1 Riscos Biológicos	42
3.4.2 Riscos Químicos	44
4. CAPÍTULO 4 - PADRÕES DE BIODETERIORAÇÃO: ESTUDOS DE CAMPO	47
4.1 Pavimentos	48
4.2 Fachadas e Muros	49
4.3 Escadas	55
4.4 Elementos Escultóricos	56
4.5 Análise do Desenvolvimento e Propagação da Colonização Biológica	58
4.6 Táticas e Estratégias de Controlo contra a Colonização Biológica	60
5. CAPÍTULO 5 - INTERVENÇÃO NUMA FACHADA DE GRANITO – ENSAIO DE CAMPO	67
5.1 Localização geográfica	68
5.2 Geologia local	73
5.3 Produtos Aplicados	74
5.4 Procedimento experimental	80
5.4.1 Segurança e Saúde no Trabalho	80
5.4.2 Tratamento de Limpeza	81
5.4.3. Tratamento de Prevenção	85
5.4.4 Resultados e Discussão	87
5.5 Análise Económica	89
6. CAPÍTULO 6 - Conclusão	105
7. CAPÍTULO 7 - Bibliografia	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 -	Diagrama de um biofilme microbiano crescendo sobre a superfície da pedra.	6
Fig. 2.2 -	Morfologia das bactérias.	9
Fig. 2.3 -	Fungos.	12
Fig. 2.4 -	Cianobactérias e algas.	13
Fig. 2.5 -	Diferentes formas de crescimento de um líquen na pedra.	17
Fig. 2.6 -	Líquenes.	18
Fig. 2.7 -	Musgos.	20
Fig. 2.8 -	Crescimento de plantas superiores numa fachada de granito.	24
Fig. 3.1 -	Elemento escultórico a) com colonização biológica e b) após limpeza a jacto de água.	35
Fig. 3.2 -	a) Estátua afectada por pátinas biológicas; b) Tratamento com telas impermeáveis à luz reduzindo a colonização biológica; c) Estátua após tratamento.	36
Fig. 4.1 -	Pavimentos de granito com crescimento biológico.	49
Fig. 4.2 -	Fachada revestida a placas de granito, (edifício construído em 1997, no Campus de Gualtar). Lado sul.	50
Fig. 4.3 -	Fachada revestida a placas de granito (edifício construído em 1997, no Campus de Gualtar). Lado nascente.	51
Fig. 4.4 -	Muro revestido a placas de granito localizado no Campus de Gualtar, construído em 1997. Lado norte.	52
Fig. 4.5 -	Muros de granito com problemas de colonização biológica associada às superfícies rugosas.	52
Fig. 4.6 -	Fachada revestida a placas de granito, de edifício construído em 1997, no Campus de Gualtar. Lado norte.	53
Fig. 4.7 -	a) Fachada revestida a painéis de betão, (edifício construído em 2001, no Campus de Azurém). Lado noroeste. Desenvolvimento de filmes biológicos devido a sistema de drenagem incorrectamente projectado; b) Fachada revestida a reboco cimentício de edifício construído em 1995, no Campus de Azurém. Lado norte. Colonização biológica associada à má execução de obras.	54
Fig. 4.8 -	Fachada revestida a sistema capoto e placas de granito, de edifício construído em 1989, no Campus de Azurém. Lado norte.	55
Fig. 4.9 -	Espelhos de escadas em granito com colonização biológica, Campus de Gualtar	56
Fig. 4.10 -	Elementos escultóricos em granito, na cidade de Vigo, com colonização biológica associada às suas morfologias.	57
Fig. 5.1 -	Capela da Ascensão, Bom Jesus do Monte, em Braga	68
Fig. 5.2 -	Localização da Capela da Ascensão	69
Fig. 5.3 -	Terreno Monte do Bom Jesus	69
Fig. 5.4 -	Localização das colunas graníticas de ensaio	69
Fig. 5.5 -	Características da envolvente da fachada orientada a norte do objecto de estudo.	69
Fig. 5.6 -	Precipitação média mensal de 1941-1970 de Braga/ Posto Agrário e Sameiro	70
Fig. 5.7 -	Evolução anual dos valores médios de temperatura na estação climatológica de Braga de 1941-1970 para as 9 horas e de 1950-1970 para as 18 horas	71
Fig. 5.8 -	Evolução anual dos valores médios de humidade relativa na estação climatológica de Braga de 1941-1970 para as 9 horas e de 1950-1970 para as 18 horas.	71

Fig. 5.9 -	Colunas graníticas da fachada da Capela da Ascensão, orientadas a norte.	72
Fig. 5.10 -	Observação macroscópica do granito da Capela de Ascensão	73
Fig. 5.11 -	Alguns equipamentos de segurança na aplicação de produtos químicos.	81
Fig. 5.12 -	Pulverizador com água limpa a amolecer o substrato de granito	82
Fig. 5.13 -	Escovas utilizadas na limpeza do substrato	82
Fig. 5.14 -	Aspecto de uma das áreas a testar da coluna esquerda, após limpeza mecânica	82
Fig. 5.15 -	Aspecto de uma das áreas a testar da coluna direita, após limpeza mecânica	82
Fig. 5.16 -	Combinações de produtos químicos de limpeza aplicados nas colunas de granito. a) Coluna à direita; b) Coluna à esquerda.	83
Fig. 5.17 -	Aspecto da coluna à esquerda após limpeza química.	85
Fig. 5.18 -	Aspecto da coluna à direita após limpeza química.	85
Fig. 5.19 -	Aspecto da coluna à esquerda após limpeza produto preventivo.	87
Fig. 5.20 -	Aspecto da coluna à direita após produto preventivo	87
Fig. 5.21 -	Coluna à direita após 9 meses do tratamento de prevenção	88
Fig. 5.22 -	Coluna à direita após 9 meses do tratamento de prevenção	89
Fig. 5.23 -	Paramentos de Intervenção. a) Paramento 1; b) Paramento 2	90

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 –	Composição média da troposfera	29
Quadro 5.1 –	Informação regulamentar do produto 1	75
Quadro 5.2 –	Informação regulamentar do produto complementar 1	75
Quadro 5.3 –	Informação regulamentar do produto 2	76
Quadro 5.4 –	Informação regulamentar do produto complementar 2	77
Quadro 5.5 –	Informação regulamentar do produto 3	78
Quadro 5.6 –	Informação regulamentar do produto 4	79
Quadro 5.7 –	Informação regulamentar do produto complementar 4	80
Quadro 5.8 –	Tipos de Intervenções simuladas	90
Quadro 5.9 –	Dados considerados na simulação de intervenção – Produto 1	92
Quadro 5.10 –	Análise de custos das diferentes intervenções no Paramento 1 – Produto 1	93
Quadro 5.11 –	Análise de custos das diferentes intervenções no Paramento 2 – Produto 1	94
Quadro 5.12 –	Dados considerados na simulação de intervenção – Produto 2	95
Quadro 5.13 –	Análise de custos das diferentes intervenções no Paramento 1 – Produto 2	96
Quadro 5.14 –	Análise de custos das diferentes intervenções no Paramento 2 – Produto 2	97
Quadro 5.15 –	Dados considerados na simulação de intervenção – Produto 3	98
Quadro 5.16 –	Análise de custos das diferentes intervenções no Paramento 1 – Produto 3	99
Quadro 5.17 –	Análise de custos das diferentes intervenções no Paramento 2 – Produto 3	100
Quadro 5.18 –	Dados considerados na simulação de intervenção – Produto 4	101
Quadro 5.19 –	Análise de custos das diferentes intervenções no Paramento 1 – Produto 4	102
Quadro 5.20 –	Análise de custos das diferentes intervenções no Paramento 2 – Produto 4	103

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Gerais

Actualmente, há uma preocupação pela conservação do património cultural. A beleza dos edifícios carregados de história são desfigurados e não revelam a sua identidade. A História de um monumento não deve estar confinada às páginas dos livros, mas sim visível nos seus monumentos, nas fachadas dos edifícios, em tudo o que é típico e característico de um país e cultura nacional.

O estudo da alteração das rochas aplicadas em património construído, tem recebido particular atenção por parte da comunidade científica devido à acelerada taxa de degradação que se tem vindo a verificar. Os factores de degradação físicos e químicos das pedras têm sido, desde há muito, alvo de atenção. A pedra é dos materiais mais usados nas construções antigas e também muito aplicada em muitos revestimentos de edifícios recentes. A sua conservação suscita desde sempre um grande interesse, muitas vezes difícil de tratar pela complexidade e desconhecimento de determinados fenómenos a que está sujeita.

Apenas recentemente tem-se dado ênfase à investigação dos processos de degradação resultante desta patologia. A degradação biológica do património histórico é uma das grandes preocupações dos conservadores e um dos problemas mais complexos da área da conservação e restauro em todo o mundo. Esta complexidade advém não só do facto de os factores ambientais externos não poderem ser controlados, mas também das inter-relações destes com os microrganismos serem bastante complexos.

Em Portugal, a experiência existente traduzida em trabalhos publicados neste domínio são extremamente escassos, demonstrando a necessidade urgente de aprofundar o conhecimento nesta área.

1.2 Objectivos

O objectivo geral da presente dissertação é contribuir para o estudo das estratégias de prevenção e remediação do problema da colonização biológica de pedras graníticas aplicadas no ambiente construído, tendo em vista a durabilidade estética dos materiais graníticos, assim como a definição de estratégias de restauro e reabilitação do património construído. Estudaram-se revestimentos biológicos que podem incluir microrganismos (como algas e fungos), líquenes e musgos (não foram consideradas plantas vasculares nem animais).

Neste contexto o trabalho desenvolvido visou os seguintes objectivos específicos:

- Caracterizar padrões de ocorrência de revestimentos biológicos em obras arquitectónicas recentes (tendo em vista a observação dos primeiros estádios do desenvolvimento desta patologia, aspecto importante na investigação da componente temporal), prestando especial atenção às relações com as características das estruturas;
- Comparar a durabilidade de diferentes tratamentos de limpeza, nomeadamente limpeza mecânica por via húmida e limpeza com diversos tipos de produtos químicos;
- Construir um modelo de avaliação de custos dos diferentes tipos de tratamentos considerados, abrangendo os diversos aspectos envolvidos assim como previsões sobre a durabilidade destes tratamentos;
- Discutir potenciais opções estratégicas para o combate ao desenvolvimento de revestimentos biológicos, abrangendo a prevenção e minimização do risco de colonização biológica (ao nível das opções construtivas), assim como as intervenções em obras existentes. Esta discussão será baseada nos padrões de ocorrência desta patologia e nos aspectos (económicos) envolvidos nas diferentes opções de tratamento.

1.3 Organização da Dissertação

No capítulo 2 introduz-se o decaimento biológico da pedra, em que descreve os processos de biodeterioração, os organismos principais responsáveis por esse

decaimento e os agentes e factores que contribuem para o aumento da biodeterioração da pedra.

No capítulo 3, são abordadas medidas de prevenção e controlo da biodeterioração, como os métodos mecânicos, físicos, químicos e biológicos e ainda medidas de higiene e segurança no trabalho associados aos riscos biológicos e químicos na aplicação dos métodos de prevenção.

No capítulo 4, apresentam-se estudos efectuados em campo, na cidade de Braga, Guimarães e Vigo, relacionados com os padrões de biodeterioração em diferentes elementos construtivos. Analisa-se o desenvolvimento e propagação da colonização biológica e apresenta-se estratégias de controlo contra a colonização biológica.

No capítulo 5, é apresentado um caso de estudo em duas colunas graníticas da Capela da Ascensão, no Bom Jesus do Monte, em Braga, submetidas a diferentes produtos de tratamento comerciais e também uma simulação de custos comparativa de uma simples limpeza mecânica com a limpeza mecânica associada com produtos químicos.

Por último, no capítulo 6, expõe-se as conclusões da dissertação, bem como sugestões para trabalhos a desenvolver no futuro.

2. DECAIMENTO BIOLÓGICO DA PEDRA

2.1 Processos de Biodeterioração

A biodeterioração dos materiais desenvolve-se através de diferentes mecanismos: processos físicos (perda de coesão, ruptura e desagregação), processos químicos (degradação e decomposição do substrato) e processos estéticos (pigmentos). Estes processos normalmente acontecem em simultâneo, mas um deles pode predominar em relação aos outros, dependendo do tipo de substrato, da comunidade biótica, assim como das condições ambientais (Caneva et al., 2005). Para além destas acções directas, o desenrolar de organismos pode criar condições favoráveis para o crescimento de outras espécies (sucessão ecológica).

2.1.1 Processos Físicos

Os processos físicos envolvem todos os mecanismos que conduzam a uma micro ou macro perda de coesão no substrato, devida a uma acção mecânica dos organismos durante o movimento e o crescimento, não necessitando de o utilizar como fonte de alimento. Os fragmentos assim produzidos têm a mesma composição química das do material original, porém serão mais destacados devido à pressão exercida pelos organismos. Como exemplo, temos as hifas dos fungos nas rochas, que penetram na pedra em fissuras preexistentes, causando tensões que conduzem a danos físicos em torno do material rochoso, podendo levar à fragmentação do substrato. Um substrato fragmentado proporciona assim uma maior área aos agentes de degradação especialmente em ambientes exteriores, tais como a chuva, o vento, os poluentes, entre outros.

Geralmente, os danos provocados pelos organismos são mais severos do que os produzidos pelos microrganismos, pelo facto destes últimos terem menores dimensões e consequentemente exercerem menor pressão (Caneva et al., 2005). Por vezes, a presença de pátinas coloridas formada por microrganismos na pedra em ambientes exteriores pode ser uma fonte de esforços físicos aos substratos, induzindo um aumento de temperatura e de retenção de água (Caneva et al., 2005).

As raízes das árvores, pequenos arbustos e relvas também prejudicam a pedra, uma vez que tendem a penetrar em zonas que ofereçam menos resistência (argamassas entre as pedras), sendo os seus danos visíveis a uma distância de muitos metros. De salientar que o crescimento das raízes origina um aumento das fissuras e diminui a coesão entre as pedras, ameaçando um desprendimento e futuro colapso dos de objectos e edifícios de pedra.

2.1.2. Processos Químicos

Os mecanismos químicos de alteração do substrato devem-se aos efeitos dos processos metabólicos dos organismos presentes. Estes mecanismos podem ser entendidos em duas fases: a invasão e o ataque.

Numa primeira fase, o processo de alteração química do substrato começa com a invasão dos microrganismos, sendo capazes de aderir ao substrato através da segregação de substâncias poliméricas extracelulares (Figura 2.1), compostas por hidratos de carbono, proteínas, ácidos, entre outros, cuja função é cimentá-los à superfície. Este tipo de cimento viscoso proveniente dos microrganismos, é designado por biofilme, e é um dos responsáveis pela degradação do substrato. Consequentemente poderá levar a danos físicos e químicos, ou seja, à fragilização física e à descoloração da pedra. A relação entre os mais variados materiais e as fases iniciais da formação do biofilme dependem do tipo de superfície, do tipo de substrato e da rugosidade. As irregularidades na superfície são pontos preferenciais para os microrganismos (Caneva et al., 2005).

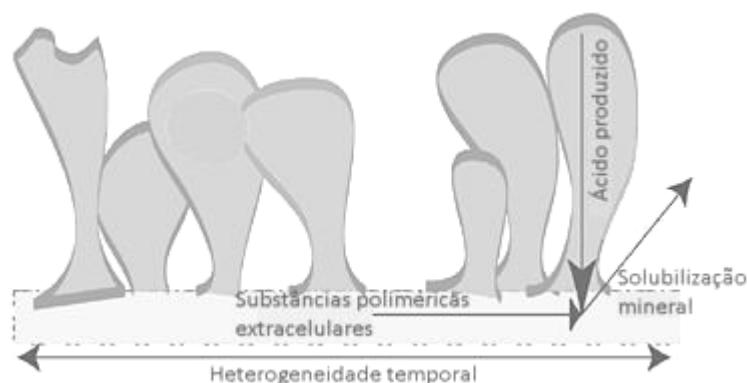
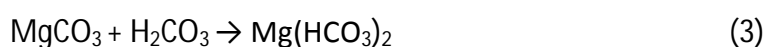
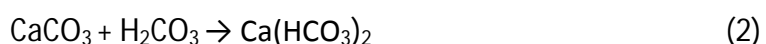


Fig. 2.1 - Diagrama de um biofilme microbiano crescendo sobre a superfície da pedra (Perry, 2003)

Numa segunda fase, o organismo ataca o substrato como uma fonte de nutrição, onde este produz uma variedade de produtos metabólicos que reagem quimicamente com a superfície da pedra. Esta deterioração química devida à corrosão da pedra pelos produtos metabólicos ocorre quando ácidos orgânicos e inorgânicos são libertados (Figura 2.1). A acção dos ácidos deve-se à sua capacidade de reagir directamente com as moléculas do substrato de pedra, proporcionando produtos de reacção, tais como sais solúveis e consequentemente compostos químicos constituídos por iões metálicos ligados a compostos orgânicos (quelatos). Por vezes estes podem ser dissolvidos e posteriormente lavados. Um maior volume de sais solúveis ou quelatos pode resultar de tensões no interior dos poros do material, levando à formação de fissuras. A quantidade e o tipo de ácidos produzidos variam de acordo com as espécies (Caneva et al., 2005 e Kumar, 1999).

Do mesmo modo, é importante mencionar o fenómeno ligado à respiração produzida pelos organismos aeróbios (que necessitam de oxigénio para viver), responsáveis pela libertação do dióxido de carbono em ambientes aquosos. Este fenómeno leva à formação de ácido carbónico (eq.1) que pode dissolver carbonatos de cálcio e magnésio, presentes em pedras calcárias, produzindo bicarbonato de cálcio (eq.2) e magnésio (eq.3) que são altamente solúveis (Caneva et al., 2005 e Kumar, 1999):



2.1.3. Processos estéticos

A colonização biológica pode causar deterioração estética por acumulação de pigmentos produzidos pelos organismos (Gaylarde & Morton, 1999; Albertano et al., 2005; Young et al., 2008). A invasão dos materiais por organismos não implica necessariamente degradação física e química mas simplesmente mudanças cromáticas reversíveis, podendo ter efeitos benéficos para a colonização biológica. (Guillitte & Dreesen, 1995). Os efeitos estéticos dependerão também da cor da rocha original como indicam, quantitativamente, os estudos de Prieto et al. (2006).

O efeito estético ou visual de biodeterioração da pedra é conceitualmente subjectivo, mas ainda assim importante. Sabe-se que o crescimento das populações biológicas em superfícies de pedra modifica sua aparência devido a alterações cromáticas e desenvolvimento de pátinas biológicas. Diversas décadas atrás, trepadeiras foram consideradas para melhorar a estética, hoje em dia, geralmente é preferível eliminar o crescimento biológico por razões de conservação e de criar uma impressão de ordem e cuidado.

2.2 Organismos contribuintes para Decaimento Biológico da Pedra

Os materiais pétreos são colonizados, predominantemente, por organismos segundo determinadas condições favoráveis aos seus desenvolvimentos, sendo que, em variados tipos de pedra, estes organismos podem vir a causar danos directos (pelo próprio organismo) ou indirectos (em conjunto com outros organismos). Os principais grupos de organismos que podem viver, desenvolver e degradar a pedra de um monumento são: as bactérias, os fungos, as algas e as cianobactérias, os líquenes, os musgos, as plantas e os animais. A rocha sã é colonizada por microrganismos autotróficos (produzem o seu próprio alimento através da energia da luz solar) e por microrganismos heterotróficos (obtem energia da matéria orgânica pré-existente) como as cianobactérias, algas, fungos e líquenes (Aires-Barros, 2001).

A rocha de um monumento intensamente fracturada e alterada fica mais favorável à presença de microrganismos e mesmo macrorganismos. Assim como a água e o ar, podem também circular pelos micro-canais e micro-nichos permitindo o alojamento de seres vivos. Aires-Barros (2001) admite que 100 000 a 1 000 000 de microrganismos podem viver nas superfícies internas de um centímetro cúbico de rocha alterada (cerca de 2g). Segundo o mesmo autor, a acção biológica dos seres vivos que habitam nas rochas dos monumentos é variada, podendo ser exercida das seguintes formas:

- Fornecimento de energia, nutrientes e água pelos germes que habitam o interior das rochas degradadas e que são alimentados pela permuta com a atmosfera envolvente, e também ela plena de microrganismos;

- Acções de biocorrosão e bioabrasão pela microbiota que se move livremente pelos micro-canais das rochas procurando migrarem para o interior da rocha aumentando o volume de rocha alterada;
- Acções catalíticas, acelerando ou retardando transformações químicas em curso;
- Acções protectoras de ataques físicos e químicos pela formação de capas de protecção biogenéticas (pátinas);
- Acções físico-químicas promovendo a desintegração da rocha pela acção das hifas dos fungos e raízes das plantas;
- Acções de lixiviação (biolixiviação) realizadas por ácidos biogénicos, como ácido sulfúrico (H_2SO_4), ou por quelatos ou ainda directamente por fungos, cianobactérias, algas e bactérias.

2.2.1 Bactérias

As bactérias podem ser facilmente encontradas em materiais pétreos localizados no exterior, pela simples necessidade de nutrição e sobretudo se o substrato possui um elevado conteúdo de água. A sua morfologia pode ser observada na Figura 2.2.

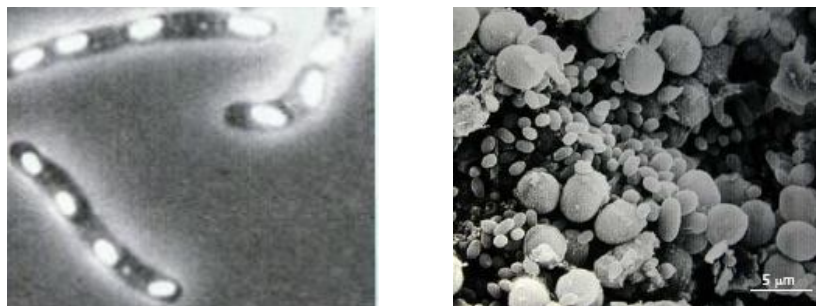


Fig. 2.2 – Morfologia das bactérias (Caneva et al., 2005; Realini, 2004)

As bactérias que contribuem para a degradação das rochas podem ser distinguidas em dois grupos: as bactérias autotróficas e as bactérias heterotróficas. O primeiro grupo é constituído pelas bactérias que não necessitam de fornecimento de matéria orgânica como fonte de energia e de carbono, pois usam o CO_2 como alimento. Neste grupo ainda há que serem separadas as bactérias fotoautotróficas, em que a fonte de energia utilizada na produção de substâncias orgânicas é a luz solar, das bactérias químico-litoautotróficas, que utilizam oxidações de substâncias inorgânicas como fonte de

energia (Aires-Barros, 2001). O segundo grupo, formado pelas bactérias heterotróficas, necessita de matéria orgânica, produzida por outros seres vivos, como fonte de energia e de carbono.

Aires-Barros (2001) refere que as bactérias autotróficas são responsáveis pela meteorização das rochas. No que diz respeito à alteração e degradação da pedra, de entre elas destacam-se as bactérias nitrificantes, sulfúricas e as férricas. As bactérias nitrificantes ou fixadoras de azoto são conhecidas por serem as primeiras colonizadoras das superfícies de pedra, desempenhando um papel importante na degradação de rochas carbonatadas, por produzirem ácido nítrico que reage com CaCO_3 (Caneva et al., 2005). A superfície da pedra pode ter um aspecto degradante e alterado, apresentando dissolução, pulverização e eflorescências. As bactérias sulfúricas são consideradas as mais perigosas para a conservação da pedra pelas capacidades de produzirem ácido sulfúrico, sendo este considerado um ácido inorgânico com uma forte acção degradante (Caneva et al., 2005). Este tipo de bactérias pode oxidar o enxofre dos excrementos das aves em sulfuretos e em seguida, em sulfato, provocando algo semelhante à acção das chuvas ácidas sobre os carbonatos (Aires-Barros, 2001). Os sulfatos que aparecem como crostas sobre a superfície de pedra podem ser dissolvidos pela água da chuva ou podem ser precipitados dentro dos poros da pedra, onde após a cristalização, eles podem aumentar de volume e provocar a esfoliação. As pedras calcárias são as mais sensíveis a esta situação (Kumar, 1999). As bactérias férricas são as mais importantes oxidantes do ferro e contribuem para a coloração da superfície e para a dissolução de catiões da pedra, tendo um papel relevante na oxidação da pirite (sulfureto de ferro) (Aires-Barros, 2001).

As bactérias heterotróficas vivem nos líquenes existentes na superfície das rochas e são menos nocivas ao decaimento das rochas quando comparadas com as bactérias autotróficas (Aires-Barros, 2001). O seu mecanismo de deterioração envolve o desenvolvimento de ácidos biogénicos, podendo causar dissolução através da mobilização de catiões, tais como Ca^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Al^{3+} e Si^{4+} . Algumas destas bactérias provocam descoloração nas superfícies de pedra (Kumar, 1999).

A acção bacteriana sobre as rochas dos monumentos implica a absorção de energia através da radiação solar, de modo a promover oxidações ou reduções nos minerais das rochas. O decaimento pode difundir-se severamente pela actuação das bactérias no seio das microfissuras, atacando os silicatos, os carbonatos e os óxidos constituintes das rochas (Aires-Barros, 2001).

Os factores ambientais mais influentes para o crescimento bacteriano são: a disponibilidade de água, o oxigénio, a temperatura, a luz e o pH. Geralmente, elevadas concentrações de sais inibem o crescimento, mas muitas bactérias são capazes de crescer nestas condições (Caneva et al., 2005).

Muitas vezes não tem sentido pensar nos organismos puramente isolados mas sim como membros de uma comunidade de organismos. Assim, aos factores que influenciam o crescimento, também se pode adicionar: a disponibilidade de nutrientes liberados pelas espécies anteriores, modificações na concentração de nutrientes inorgânicos, a formação de toxinas produzidas pelos colonizadores originais, entre outros (Caneva et al., 2005).

2.2.2. Fungos

Os fungos são encontrados na pedra e desempenham um papel importante na degradação dos bens culturais. Estes microrganismos não conseguem produzir o seu próprio alimento por via fotossintética pelo que são seres heterotróficos e para sobreviverem têm que estar próximos da sua fonte de alimento (Edwards, 1990). Os meios urbanos e as regiões industrializadas são os ambientes ideais para o desenvolvimento dos fungos, pelos seus elevados níveis de poluição, contendo matéria que serve de alimento para os microrganismos.

Os fungos encontram-se dispersos por meio de esporos que ao germinarem formam filamentos alongados denominados por hifas (Figura 2.3) (Nova Enciclopédia Larousse, 1994). A germinação de alguns esporos dá-se logo que se encontrem em condições favoráveis ao seu desenvolvimento, enquanto outros precisam de um estímulo de activação específico para germinarem, tais como, choques térmicos e substâncias

químicas (detergentes e ácidos orgânicos), as quais são usadas também em conservação (Caneva et al., 2005). Isto é importante na selecção dos métodos de conservação dos materiais onde o risco de biodeterioração é elevado, uma vez que a prevenção da contaminação pode levar a uma perigosa e rápida colonização fúngica.

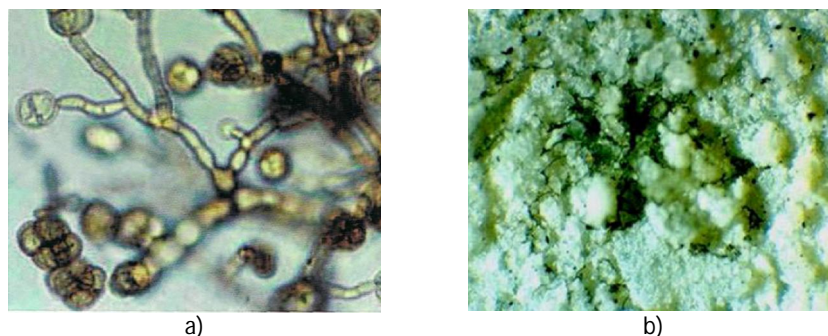


Fig. 2.3 - Fungos. a) Morfologia dos fungos (Caneva et al., 2005); b) Fungos sobre substrato de pedra (Realini, 2004).

As condições necessárias para ocorrer a germinação variam consoante a espécie, mas o factor mais importante é a disponibilidade de água. A distribuição dos fungos depende da capacidade de suporte que o substrato possui para o seu desenvolvimento.

A maior parte dos fungos são aeróbios, na medida em que exigem a presença de oxigénio pelo menos numa fase do seu ciclo de vida (Caneva et al., 2005). Um pH óptimo é também muito importante para o metabolismo dos fungos. A maioria deles cresce nos valores óptimos de pH entre 4 e 6, no entanto, muitas espécies são capazes de se alongarem entre 2 e 9 (Caneva et al., 2005). Relativamente à temperatura óptima de crescimento, a maioria dos fungos são mesófilos (22-28°C), ou seja, crescem em condições de temperatura moderada, no entanto muitas espécies podem crescer em altas ou baixas temperaturas (Caneva et al., 2005). A luz tem pouco efeito sobre o crescimento dos fungos, mas em alguns casos encoraja a formação e germinação dos esporos (Caneva et al., 2005).

Os fungos podem degradar a pedra através de processos mecânicos e químicos como resultado do seu metabolismo. As hifas dos fungos penetram no substrato em busca de nutrientes e exercem uma acção mecânica sobre o substrato. Elas produzem ácidos

que funcionam como agentes quelantes e podem lixiviar os cátions metálicos (cálcio, ferro, magnésio) a partir da superfície da pedra (Kumar, 1999).

2.2.3. Algas e Cianobactérias

A maioria das algas e cianobactérias (algas azuis-verdes) são organismos fotoautotróficos que contêm pigmentos como a clorofila, cujo seu principal meio para obtenção de energia e manutenção metabólica é a luz solar, embora algumas também são capazes de sobreviver heterotróficamente utilizando uma variedade de substratos orgânicos (Kumar, 1999).

As algas (Figura 2.4) exibem uma gama completa de pigmentos (clorofila, carotenóides), enquanto as cianobactérias têm a prevalência de um pigmento azul (ficocianina), que sobre o verde da clorofila resulta uma alga azul-esverdeada (Figura 2.4). As cianobactérias foram os primeiros organismos a colonizar a pedra, necessitando apenas de luz, água e compostos orgânicos para se desenvolverem (Realini, 2004).

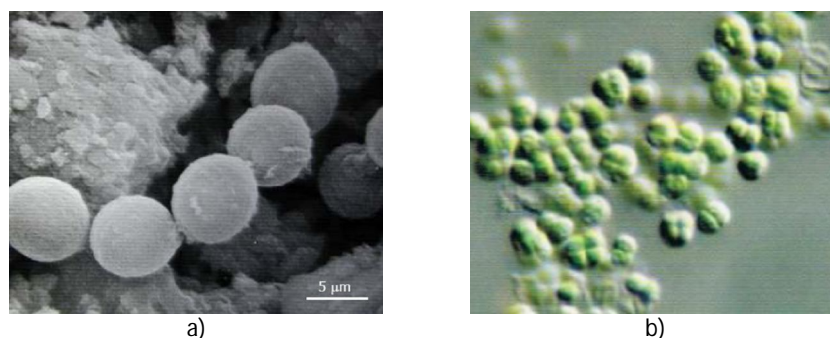


Fig. 2.4 – Cianobactérias e algas. a) Morfologia das algas (Realini, 2004); b) Morfologia das cianobactérias (Caneva et al., 2005).

A reprodução destas algas pode realizar-se pela forma assexuada (vegetativa) ou sexuada. Na primeira, a alga reproduz-se sem que haja necessidade de qualquer partida de material genético, como por exemplo pela divisão de uma célula em duas. Na segunda, implica que haja partilha de material genético, onde há fertilização das células masculinas e femininas (Nova Enciclopédia Larousse, 1994). Elas são capazes de crescer nas envolventes dos edifícios e em diferentes substratos, como plantas, madeira e pedras, que estejam constantemente humedecidos, levando à formação de

biofilmes. Geralmente a distribuição e abundância destes organismos dependem de vários factores, tais como, a luz, a temperatura, a salinidade, o pH, a taxa de fluxo de água, os nutrientes, os agentes biológicos (como predação e resistência), e da interacção entre todos estes factores (Caneva et al., 2005).

Num estudo elaborado por Barberouse *et al.* (2006), foi revelado que o crescimento biológico está condicionado por um conjunto de parâmetros ambientais e também por parâmetros físicos, tais como, rugosidade e porosidade do substrato. Uma grande variedade de espécies foi observada em amostras de diferentes capacidades de resistência à dissecação, em que a disponibilidade de água combinada com a luz provocou o seu crescimento.

Estes organismos têm uma grande afinidade com a pedra, vivendo sobre as superfícies irregulares, em fendas, cavidades e no interior do substrato. O crescimento das algas pode ocorrer dentro de alguns meses (Young and Urquhart, 1998). Uma grande variedade de espécies apresenta-se em substratos rochosos, na qual é observada uma série de pátinas cromáticas seguindo o fluxo de água e de camadas gelatinosas de diferentes cores (verde, cinza, preto, laranja, castanho, vermelho-púrpura), dependendo do tipo de comunidade biológica e da combinação de pigmentos fotossintéticos presentes nos organismos (Caneva et al., 2005). As camadas gelatinosas são espessas, consistentes e de cores diversas, que permitem uma forte adesão ao substrato e funcionam como uma reserva de água superando assim os períodos de dissecação, de modo a sobreviverem em superfícies secas. Para além de reterem água, permitem a adesão de poeiras, terras e resíduos orgânicos que favorecem o crescimento posterior de outros organismos. Os pigmentos que possuem no interior das células, protege-os dos elevados níveis de radiação de luz, em particular a radiação UV (Caneva et al., 2005).

No que diz respeito ao pH, a maioria das algas prefere rochas alcalinas (calcários e mármore) (Chaparro, 2008), enquanto outras espécies se desenvolvem em rochas ácidas (granitos). A temperatura é outro factor que regula o desenvolvimento destes organismos, e segundo Caneva et al. (2005) a temperatura óptima para o crescimento

das cianobactérias é maior que a das algas, uma vez que nas primeiras a temperatura ronda entre 25 e 35°C e nas segundas entre 20 a 30°C

As exigências nutricionais, incluem alguns elementos nutritivos, como o nitrogénio, o fósforo, o potássio, o enxofre, o cálcio, o ferro, o magnésio e outros elementos (Caneva et al., 2005). Os excrementos de aves podem ser uma fonte de alimento, na medida que fornecem nutrientes, como o nitrogénio e o fosfato (Young and Urquhart, 1998). Os ambientes rurais muitas vezes também criam condições favoráveis ao crescimento de organismos, contribuindo com o fornecimento de nutrientes provenientes de fertilizantes de agricultura transportados pelo vento (Allsopp et al., 2004). Geralmente, um número de elementos são exigidos por estes organismos como nutrientes essenciais, mas podem ser escassos na maioria das pedras dos monumentos.

A colonização de algas e cianobactérias podem causar danos mecânicos e químicos nos monumentos em pedra, que podem ser causados pelas seguintes acções:

- Alargamento das fendas da pedra como resultado do crescimento dos organismos (Allsopp et al., 2004);
- Perturbação da estrutura de pedra devido aos organismos que actuam no interior da pedra (endolíticos) (Allsopp et al., 2004);
- Pulverização e dissolução da pedra pela libertação de ácidos orgânicos e inorgânicos, que reagem com os minerais, formando sais solúveis (Kumar, 1999);
- Deterioração bioquímica resultantes das manchas devido aos pigmentos das algas de cor diferente (Kumar, 1999);
- Microcavidades da pedra resultante da combinação do crescimento de algas e os efeitos de dissolução da água (Kumar, 1999).

A biodeterioração estética é um dos danos mais importantes causados por estes microrganismos, na medida em que os edifícios têm uma aparência de descuido devida às pátinas coloridas na superfície da pedra, obscurecendo belos detalhes arquitectónicos.

A profundidade em que os organismos fotossintéticos são capazes de colonizar na pedra é dependente da penetração da luz abaixo da superfície (Young and Urquhart, 1998). A luz, para além de ter um efeito sobre o crescimento, também é responsável pelas variações cromáticas dos organismos. A presença de altos níveis de intensidade de luz dá origem a células de pigmentação amarelo-alaranjado. Em baixos níveis de intensidade de luz, as células dão uma cor verde muito intensa. Por exemplo as algas do género da *Trentepohlia* são de cor laranja-vermelho em luz directa ou forte, enquanto em sombra elas são verdes. A alteração de cor é devida à acumulação dos carotenóides laranja, mascarando o pigmento verde e ocorre como uma adaptação à luz de altos níveis (Young and Urquhart, 1998).

2.2.4. Líquenes

Os líquenes são associações entre dois organismos – uma alga e um fungo – que vivem juntos numa relação mutualista. A alga realiza a fotossíntese, enquanto o fungo contribui com a absorção de água e os compostos minerais. O fungo também é responsável pela fixação do líquen ao substrato. Os cientistas descobriram que a alga presente nesta associação consegue sobreviver sozinha; já o fungo, não consegue sobreviver sozinho, e é por esse motivo, o elemento dependente. Os novos líquenes formam-se quando um fungo captura uma alga. Se o fungo matar a alga, ele próprio também morrerá (Edwards, 1990). Esta estratégia para a obtenção de alimento é bastante comum no Reino Fúngico, pois 21% das suas espécies são liquenizadas (Caneva et al., 2005). Schwendener, um alemão, foi o primeiro a descobrir a natureza dos líquenes, definindo-os como colónias constituídas por centenas de milhares de indivíduos, chefiados por um mestre (o fungo), enquanto o resto (algas e cianobactérias), preparavam o alimento para si e seus capitães (Purvis, 2000).

A reprodução dos líquenes pode ser vegetativa (assexuada) ou por meio de esporos (sexuada). Na reprodução de esporos, o fungo deve encontrar um parceiro compatível para formar um novo líquen, o que é um evento raro. Em muitos líquenes, a formação de talos é assim assegurada pela fragmentação das partes do corpo vegetativo ou através da dispersão de propágulos vegetativos, transportados pelo vento e animais,

que contêm ambos os simbioss, ou seja o fungo e os organismos fotossintéticos (Nova Enciclopédia Larousse, 1994).

A morfologia do talo (Figura 2.5 e 2.6a)) depende em parte dos parceiros simbióticos fotossintéticos a que está associado e segundo Lisci et al. (2003) podem ser:

- Crustácea – a aderência dos talos fecham a superfície e penetram-na, formando tipo uma crosta, sendo muito difíceis de remover (Figura 2.5a));
- Foliácea – os talos penetram o substrato através de rizinas (raiz da estrutura do líquen), como árvores ancoradas, podendo ser facilmente removidos da superfície das pedras (Figura 2.5b));
- Fruticulosa – os talos desenvolvem-se de forma ramificada, semelhante a um arbusto e normalmente encontram-se ancorados ao substrato a partir de um núcleo, podendo também ser fáceis de remover (Figura 2.5c));
- Endolítica – acontece só em pedras calcárias: os talos crescem no interior do substrato e são difíceis de se distinguir devido a sua cor branca que se confunde com a rocha. Eles são normalmente detectados pelos corpos frutíferos que emergem da pedra deixando para trás pequenas covas (Figura 2.5d)).

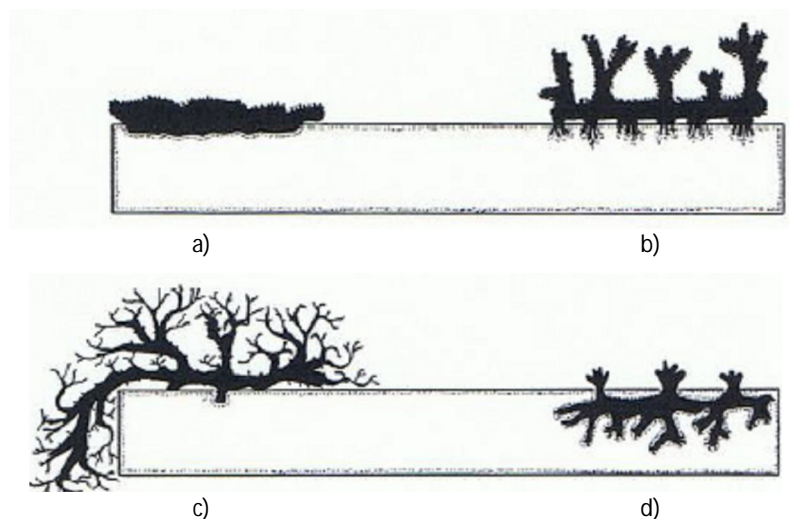


Fig. 2.5 – Diferentes formas de crescimento de um líquen na pedra: a)Crustácea; b) Foliácea; c) Fruticulosa; d) Endolítica – Lisci et al. (2003)

Os líquenes podem instalar-se em lugares onde a alga e o fungo, isoladamente, não sobreviveriam, sendo capazes de crescer sobre os mais diferentes substratos, tais como, no terreno, sobre a casca de árvores e arbustos e em alguns substratos

artificiais, ou seja, o vidro, o plástico, o cimento, o alumínio ou o ferro, chapas, entre outros. No entanto, os líquenes são mais frequentes em substratos rochosos (Figura 2.6b) e 2.6c)) (Caneva et al., 2005).



Fig. 2.6 – Líquenes. a) Morfologia dos líquenes (Caneva et al., 2005); b) e c) líquenes sobre pedras graníticas.

A capacidade de colonizar numa variedade de substratos e ambientes extremos de humidade, temperatura e luz, está ligada ao facto dos líquenes serem organismos capazes de se sustentarem durante meses, desligarem processos metabólicos quando estão secos (15 a 30% de água) e terem uma reduzida necessidade de nutrientes. No entanto, quando chove ou mesmo em condições de nevoeiro ou orvalho, os líquenes retomam o seu metabolismo desde que haja luz suficiente (Caneva et al., 2005; Purvis, 2000). Estas propriedades permitem que estes organismos possam resistir a períodos de seca consideráveis, voltando rapidamente à actividade após a reidratação do talo.

Na categoria do líquen, existe uma diferença fisiológica entre líquenes formados a partir de cianobactérias e de algas. Enquanto o primeiro exige água líquida, a fim de retomar a actividade metabólica, o segundo pode tornar-se activo a partir de humidade atmosférica (Caneva et al., 2005). O desenvolvimento das diversas comunidades é influenciado pelas características físicas e químicas do substrato (dureza e minerais), orientações (inclinação e exposição) e factores ambientais e climáticos (luz, humidade, temperatura e água). Normalmente os líquenes crescem em habitats pobres em nutrientes precisando da atmosfera como sustento do seu crescimento. A maioria dos nutrientes está presente na água da chuva e no escoamento ao longo da superfície. Estes organismos podem sofrer grandes alterações na sua composição específica devido aos compostos nitrogenados fornecidos pelos

dejectos dos animais (aves e pequenos mamíferos) (Caneva et al., 2005). O crescimento dos líquenes é muito lento, no entanto, existe uma grande variação na velocidade de crescimento entre espécies e também entre diferentes idades do organismo, podendo o crescimento radial variar entre 0.2 a 28mm. O crescimento depende da disponibilidade de água e de luz onde o talo liquénico se desenvolve (Figueira, 2002).

Os líquenes são muito sensíveis aos poluentes atmosféricos (dióxido de enxofre e óxidos de azoto), comportando-se como sensores naturais de poluição atmosférica (Caneva et al., 2005). Os altos níveis de poluição danificam os talos do líquen, retardando o crescimento e levando à morte. Isto explica a diminuição do número de espécies e área colonizada das periferias para os centros urbanos.

Estes organismos não são todos iguais, havendo uns que preferem rochas calcárias e outros rochas siliciosas (granitos), alguns permanecem à superfície e outros penetram no interior das pedras. Os líquenes são organismos que também podem prejudicar a pedra devido a:

- Infiltrações de água devida à penetração de rizinas, aumentando a permeabilidade da pedra (Allsopp et al., 2004);
- Expansões das hifas embebidas levando à fissuração da pedra (Allsopp et al., 2004);
- Sucessivas expansões e contracções das colónias de líquenes actuando de acordo com a disponibilidade da água (Allsopp et al., 2004);
- Acumulação de água na pedra em redor dos líquenes o que poderá levar a ciclos de gelo-degelo em climas frios (Allsopp et al., 2004);
- Produção de pigmentos que provocam alterações cromáticas (branca, amarela, laranja e verde) (Caneva et al., 1994; Tiano, 2000).

Em suma, os líquenes também excretam ácidos orgânicos, por exemplo, ácido oxálico e ácido liquénico, resultantes da actividade metabólica, que corrói a superfície da pedra. Estes compostos são capazes de reagir com alguns minerais removendo os catiões básicos (K^+ , Na^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+}) e os silicatos, por processos de lixiviação. O dióxido de carbono produzido pela respiração dos talos também pode dissolver as

rochas calcárias na presença de humidade e levar à formação de bicarbonatos solúveis que podem ser lavados ou causar incrustação (Allsopp et al., 2004; Caneva et al., 1994; Tiano, 2000; Chaparro, 2008).

Por outro lado, os líquenes podem ter um papel bioprotectivo, para além da sua acção biodeteriogénica. Na presença de um elevado nível de poluição atmosférica, os talos fornecem uma barreira eficaz contra os poluentes que atacam os componentes minerais do substrato (Chaparro, 2008). Assim como os líquenes formados com talos do tipo crustáceo, podem proteger superfícies de pedra e não devem ser removidos do substrato sem um estudo cuidadoso. A eliminação física ou química de líquenes, por vezes, resulta na remoção da superfície de pedra, deixando a superfície mais porosa e mais susceptível à degradação química e biológica (Allsopp et al., 2004).

2.2.5. Musgos

Os musgos foram das primeiras plantas verdes terrestres a surgirem, pelo que há autores que os denominam como organismos primitivos (Edwards, 1990). Os musgos são organismos fotoautotróficos que contêm pigmentos (clorofila e carotenóides) e possuem pequenos talos (rizóides) (Figura 2.7) cuja função é ancorá-los ao substrato e absorverem água, sais minerais e substâncias sintetizadas. Eles frequentemente ocorrem em associação com algas, numa variedade de habitats húmidos e em superfícies rochosas (Figura 2.7b)).

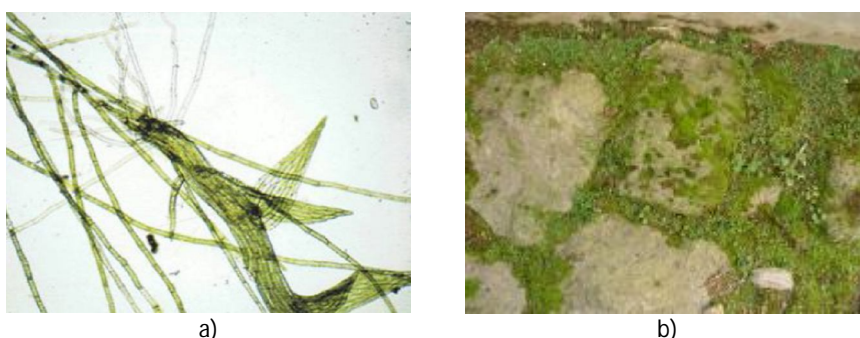


Fig. 2.7 – Musgos. a) Morfologia dos musgos (Caneva et al., 2005); b) Musgos sobre pedras graníticas.

Estes organismos não possuem sistema condutor, por isso precisam de ficar em lugares húmidos, sendo a água transportada de célula a célula e não pelo tronco como

nas plantas superiores (Kumar, 1999). A maioria desenvolve-se em vários tipos de substratos, como solo, rochas, troncos em decomposição ou de árvores vivas. Nas fissuras das rochas podem ser depositadas várias substâncias, como partículas atmosféricas, húmus e resíduos sólidos, contribuindo assim para a sua colonização.

A reprodução destes organismos, mais uma vez pode ser assexuada ou sexuada. A reprodução assexuada ocorre pela fragmentação das células de uma planta adulta, sendo transportada pela acção do vento e da água da chuva até a um substrato, germinando e formando uma nova planta. A sexuada ocorre na troca de células sexuais que se fundem no momento da fertilização, dando origem a um novo ser da mesma espécie (Nova Enciclopédia Larousse, 1994).

No que diz respeito à influência do substrato, o pH representa o factor mais influente para o crescimento dos musgos. Existem espécies com um elevado grau de afinidade para substratos com um pH ácido, enquanto outros preferem substratos alcalinos, e há outros que são indiferentes a este factor (Caneva et al., 2005). Os musgos podem ser considerados como organismos pioneiros, tal como as algas e os fungos, na colonização de superfícies rochosas expostas e desprovidas de húmus, e são capazes de sobreviver a altos níveis de temperatura e radiação solar, devido à capacidade do seu citoplasma para abrandar as mudanças de temperatura entre as células e o ambiente (Caneva et al., 2005). Como em todos os organismos autotróficos, a luz é um factor ambiental fundamental para os musgos, pois determina a sua actividade fotossintética.

Estes organismos são dotados de mecanismos que suportam a dissecação, garantindo que a falta de água não comprometa a viabilidade das plantas, realizando fotossíntese apenas quando existe água disponível e suspendendo o metabolismo em períodos de seca. Tipicamente, os musgos absorvem água e nutrientes em toda a sua superfície, captando-os eficientemente não só durante a chuva, mas também a partir da precipitação oculta (orvalho e nevoeiro). Por essa razão, estes organismos são, tal como os líquenes, bastante dependentes da qualidade do ar e vulneráveis à poluição atmosférica, sendo muito úteis numa avaliação da poluição ambiental. A presença de

musgos é uma indicação das condições ambientais que são provavelmente mais prejudiciais do que o próprio organismo. (Urquhart et al., 1997).

Os musgos são conhecidos como colonizadores da pedra e agentes biológicos da biodeterioração. A acção mecânica sobre a pedra não é tanto ameaçadora como em plantas superiores, porque estes organismos não possuem verdadeiras raízes, mas sim rizóides. Além disso, eles podem causar desintegração das superfícies de pedra devido à elevada capacidade de extracção mineral dos catiões da pedra causada pela acidez dos seus rizóides. Eles também produzem ácido oxálico e ácido carbónico como resultado do processo de respiração celular, sendo prejudiciais para a pedra durante um longo período de tempo (Kumar, 1999). Para além do húmus depositado resultante da acumulação de algas mortas, os depósitos podem aumentar devido à consequente morte dos musgos, causando danos indirectos ao substrato por apoiar o crescimento dos mais destrutivos organismos, as plantas superiores.

A colonização dos musgos permite o subsequente crescimento de plantas maiores, capazes de induzir tensões nas pedras através das suas raízes, produzindo um efeito inestético de sujidade na superfície da pedra.

2.2.6. Plantas Superiores

As plantas superiores são seres fotoautótrofos pigmentados e constituídos por uma estrutura composta por raízes, caules e folhas. A sua estrutura pode assumir formas muito diferentes adaptadas aos variados ambientes a que se encontram, possibilitando assim as principais funções vegetativas e reprodutivas. Cada órgão da sua estrutura está encarregue de diferentes funções. A raiz absorve a água e os sais do solo, estabiliza a planta no solo e pode acumular substâncias de reserva. O caule suporta a fotossíntese, bem como a reprodução e assegura a ligação entre as folhas e as raízes. As folhas têm a capacidade de realizar a fotossíntese e a transpiração em muitos diferentes ambientes. Estas três partes são atravessadas por dois sistemas de condução/transporte, uma a subir e a outra a descer. O ascendente, transporta a água que contém sais minerais em solução, e o descendente, transporta os nutrientes das folhas para as outras partes da planta (Nova Enciclopédia Larousse, 1994).

As plantas superiores têm diferentes tipos de reprodução e crescem em número e propagação em ambientes vizinhos, explorando as características do ambiente em que vivem. Como nos musgos, elas podem reproduzir por meio sexual, dando origem a um novo indivíduo através da união de dois esporos (fertilização), ou assexual, que ocorre através do processo de regeneração (Nova Enciclopédia Larousse, 1994). O conceito de reprodução inclui também a dispersão, ou seja, a difusão em ambientes adjacentes, embora nas estruturas dispersas com reprodução sexual, normalmente poderá ser mais longe do que as propagadas vegetativamente (Caneva et al., 2005).

Segundo Lisci *et al.* (2003), a colonização das plantas superiores pode ser distinguida em relação à posição, disponibilidade de água e do tipo de plantas que se sucedem umas às outras. O ataque é geralmente o resultado de factores abióticos (clima, poluentes atmosféricos, excrementos de aves e resíduos humanos) que poderão criar condições adequadas para o crescimento de bactérias, fungos e líquenes, acelerando assim a deterioração da estrutura e levando à formação de um substrato para a germinação das sementes das plantas. Em alguns casos, os detritos das plantas pioneiras formam um substrato adequado para as plantas que se sucedem. Em superfícies horizontais onde há uma melhor acumulação de água, os pioneiros das plantas são os musgos, levando à formação de um substrato suficiente para a germinação de outras plantas.

O tipo de pedra onde surge o ataque determina as espécies que crescem, por exemplo, pedras macias e porosas, como o travertino, facilmente retém a água, onde podem alojar musgos e plantas superiores. Independentemente da idade ou do interesse histórico do edifício, as plantas que crescem nas paredes têm características anatómicas e fisiológicas que lhes permitem sobreviver numa seca.

A quantidade de plantas que crescem em edifícios é mais elevada em superfícies que tendem para planos horizontais, uma vez que é mais favorável para acumular água, sementes, substrato e poeiras atmosféricas, sendo também um bom poleiro para as aves e as formigas armazenarem as sementes. Em planos verticais é mais difícil desenvolverem-se porque a disponibilidade de água está dependente do vento e a

acumulação de substâncias nutritivas só é possível se o substrato dispõe de cavidades (Figura 2.8). A quantidade de plantas diminui em ambientes em que há pouca precipitação e humidade relativa do ar.

A vegetação crescente sobre os edifícios históricos e as ruínas contribuem também para a deterioração. As raízes podem penetrar profundamente na estrutura e crescer vigorosamente, causando danos físicos e químicos. Elas são prejudiciais para a pedra porque quando crescem e engrossam, provocam pressões na pedra e nas juntas (Figura 2.8), a ponto de provocar desconjunções e por vezes derrocadas. O crescimento das raízes tende a ocorrer em zonas de menor resistência, como fissuras e fendas, aumentando o tamanho delas e diminuindo a coesão entre as pedras.



Fig. 2.8 – Crescimento de plantas superiores numa fachada de granito.

Tanto as raízes como a parte aérea das plantas danificam a estrutura das paredes. Os ramos e as folhas escondem o edifício e causam danos devido ao seu peso, podendo provocar o colapso ou o desprendimento de pedras. Nem todas as plantas causam o mesmo grau e tipo de dano, por exemplo, as plantas herbáceas são certamente menos destrutivas do que as árvores e os arbustos que podem crescer a muitos metros de comprimento, largura e profundidade. No entanto, as mais destrutivas das plantas são aquelas que se reproduzem vegetativamente (Lisci *et al.*, 2003).

A deterioração química resultante das substâncias ácidas secretadas pelas raízes, corroem a pedra e são responsáveis pelo ataque aos minerais da pedra. Os sais, os ácidos e outras substâncias tendem a formar quelatos através da interacção com os minerais da pedra. Os ácidos produzidos por meio dos processos de respiração podem atacar as partículas minerais, podendo ser um factor para o decaimento da pedra (Caneva et al., 2005).

A presença de plantas também influencia o microclima da superfície da pedra através do aumento de humidade relativa do ar e retenção de água, que favorece o crescimento de outros organismos. Também em áreas de maior poluição atmosférica, o ataque dos gases ácidos pode ser maior em superfícies molhadas (Caneva et al., 2005).

Numa intervenção com o intuito de recuperação da estrutura, a remoção das plantas pode envolver uma reconstrução completa das secções afectadas.

2.3. Agentes e Factores da Biodeterioração

A biodeterioração é um sistema de inter-relações entre os organismos, os materiais e o meio ambiente progredindo para a degradação dos materiais. O desenvolvimento dos organismos é condicionado pelos factores ambientais, necessitando de um espaço adequado para sobreviverem. Por exemplo, a água é muitas vezes o principal factor para o crescimento biológico nos materiais, sendo ela o principal componente de estruturas biológicas (Caneva et al., 2005).

Para um estudo de prevenção e controlo do ataque biológico sobre um material, é condição indispensável, identificar o factor ambiental que influenciou o crescimento. Qualquer espécie biológica cresce de acordo com as suas condições ambientais ideais, dependendo dos valores exigidos por cada organismo.

Na conservação dos bens culturais, uma cuidadosa análise das espécies presentes num dado substrato, pode fornecer informações muito úteis sobre as causas que

conduziram à colonização biológica e fornecer indicações preciosas sobre os melhores métodos para controlar a sua presença.

Caneva et al. (2005), afirma que é importante distinguir três conceitos na distribuição de uma espécie: nicho ecológico, habitat e cronologia. O nicho ecológico exprime um espaço ideal definido pelos factores necessários para o crescimento de um organismo, por exemplo, níveis de temperatura, humidade e nutrientes, entre outros. O habitat é um tipo de ambiente local, um lugar, onde o organismo encontra as condições ideais para o seu desenvolvimento, por exemplo, um lago, ambientes marinhos, florestas, etc. Cada habitat aloja espécies com diferentes nichos ecológicos. A cronologia exprime a distribuição geográfica das espécies e é o resultado de ambos os seus requisitos ecológicos e acontecimentos históricos que caracterizam uma área geográfica ao longo do tempo.

Geralmente, os factores ambientais mais importantes para o desenvolvimento de diferentes organismos são a água, a temperatura, a luz e os nutrientes (Caneva et al., 2005), em que estes desempenham um papel primordial nos processos de biodeterioração.

Em seguida serão apresentados com maior detalhe os agentes e factores mais importantes para o decaimento biológico.

2.3.1. Água

A água representa entre 70 a 80% do peso de um organismo metabolicamente activo, sendo indispensável para os processos metabólicos em toda a vida do organismo (Caneva et al., 2005). Em biodeterioração, a quantidade e disponibilidade de água, são os principais factores que determinam a velocidade à qual uma superfície é colonizada, sendo por isso que a maioria dos tratamentos para a prevenção da biodeterioração tem por fim reduzir este factor. Em ambientes exteriores, a água manifesta-se a partir da precipitação atmosférica, condensações e capilaridade, criando situações distintas para o crescimento biológico. Na ausência de água, o desenvolvimento dos organismos é dificultado e muitos organismos têm a capacidade de suspender as reacções

bioquímicas sem sofrer qualquer dano, retomando as funções metabólicas logo após que as condições sejam favoráveis (Caneva et al., 2005).

Por conseguinte, de entre os factores ambientais, a humidade é a que mais contribui para o crescimento da microflora autotrófica e heterotrófica. Se o teor de humidade dos materiais é baixo, e a humidade relativa do ar é inferior a 65-70%, o crescimento dos microrganismos é reduzido. Valores superiores a estas condições, juntamente com níveis elevados de luz, são suficientes para accionar a colonização, em especial de cianobactérias, algas e musgos (Caneva et al., 2005).

2.3.2. Luz

A luz representa a principal fonte do crescimento de organismos fotossintéticos, tais como algas, líquenes, musgos e plantas superiores, em que exigem elevados níveis de luz para realizar as suas actividades metabólicas (Caneva et al., 2005). A utilização de luz ocorre graças aos processos de fotossíntese que transformam a luz em energia química, produzindo hidratos de carbono e oxigénio a partir de componentes orgânicos, tais como, dióxido de carbono e água. As reacções que se desenvolvem durante este processo exigem a presença de determinados pigmentos fotossintéticos, ou seja, moléculas que numa determinada faixa de luz visível são capazes de absorver, como é o caso das clorofilas e os carotenóides. Os organismos reagem à luz com base na sua capacidade de absorção da energia, dependendo dos pigmentos disponíveis.

2.3.3. Temperatura

A temperatura, juntamente com a precipitação atmosférica, é o principal indicador de fenómenos climáticos, que estão relacionados com as propriedades físico-químicas da água nas estruturas biológicas. A água à temperatura de aproximadamente 0°C solidifica (0°C apenas no estado puro), ocorrendo um aumento de volume e a consequente ruptura das membranas biológicas, provocando a morte da célula (Caneva et al., 2005).

A temperatura, para além de acelerar a velocidade das actividades metabólicas, também influencia a humidade relativa do ambiente, sendo inversamente proporcional para a mesma humidade absoluta, ou seja, a humidade relativa diminui com o aumento da temperatura e aumenta quando a temperatura diminui. A maioria dos organismos cresce num intervalo de temperatura óptimo entre os 20°C e 30°C, mas alguns são capazes de sobreviver a certas variações súbitas e extremas graças à capacidade de desenvolverem estruturas resistentes (Caneva et al., 2005).

2.3.4. Características do Substrato

As propriedades físicas dos materiais desempenham um papel muito importante para a biodeterioração. A porosidade e a rugosidade dos materiais são fortemente os factores físicos que mais influenciam a colonização biológica.

A porosidade de uma rocha consiste na razão entre o volume de vazios e o volume total de uma amostra representativa. Um substrato com elevada porosidade é mais susceptível à biodeterioração, porque consegue maior retenção de água nos seus poros, oferecendo aos organismos presentes no substrato, espaços hidratados para germinação dos seus esporos e seu crescimento.

A rugosidade de um substrato também contribui para a biodeterioração dos materiais, na medida em que pode facilitar o alojamento de microrganismos, a absorção de água e o estabelecimento de materiais orgânicos, devido à sua superfície irregular e áspera (Caneva et al., 2005).

A deterioração da pedra resultante de agentes ambientais, tais como, sol, ciclos gelo-degelo, vento, chuva, provoca um aumento da rugosidade e porosidade.

2.3.5. Características da Atmosfera

A atmosfera é constituída por uma mistura de gases e vapores, fundamentalmente azoto e oxigénio, como se pode verificar no quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Composição média da troposfera (ar seco)

Componente	% em peso	% em volume
Azoto	75,51	78,09
Oxigénio	23,15	20,95
Argon	1,28	0,93
Vapor de água	variável	variável
Dióxido de carbono	0,016	0,03
Outros	0,001653	0,0024

Uma atmosfera contaminada é constituída por substâncias que alteram a qualidade do ar de modo a provocar risco grave à saúde das pessoas, animais ou plantas e danos aos bens culturais, sendo a acção do Homem a principal responsável por essa contaminação (Aires-Barros, 2001).

As principais fontes de contaminação atmosféricas são: o crescimento urbano com o consequente aumento de circulação automóvel e aquecimento doméstico, e o crescimento industrial. Estes têm um efeito agressivo sobre os materiais constituintes do património cultural e no caso dos organismos biológicos estes efeitos variam em função da natureza dos poluentes e do próprio organismo envolvido. Os organismos que são afectados por estes poluentes tóxicos são aqueles que não possuem mecanismos de defesa, como os líquenes e as briófitas, servindo assim de indicadores dos níveis de poluição (Caneva et al., 2005).

O oxigénio, também presente na atmosfera, é um forte oxidante, desempenhando um papel importante no crescimento biológico. Como é o caso dos organismos aeróbios que precisam de concentrações de oxigénio para o seu metabolismo.

Os ácidos concentrados na atmosfera reduzem severamente o pH das águas das chuvas, o que pode acidificar os substratos, inibindo o crescimento de microrganismos autotróficos e favorecendo o crescimento dos microrganismos heterotróficos que são capazes de utilizar essas substâncias como fontes de carbono. Por esse motivo, as zonas com um tráfego elevado podem estar presentes fungos, bactérias, organismos heterotróficos e ausência de organismos autotróficos (Caneva et al, 2005).

3. MÉTODOS DE LIMPEZA E PREVENÇÃO

Numa intervenção de preservação do património cultural, o plano deve incluir uma manutenção das obras de arte, de modo a preservá-las da degradação física, química e biológica. A arquitectura e as obras escultóricas, estão expostas aos agentes de degradação atmosféricos estando susceptíveis à biodeterioração. A preservação de fenómenos de biodeterioração implica a manutenção constante das obras, tendo em atenção os parâmetros do meio ambiente circundante. Como já foi revelado anteriormente, o clima e as condições microclimáticas (humidade, temperatura e luz), bem como os níveis de poluição química e biológica pode em muito influenciar o desenvolvimento das colónias biológicas.

As medidas de prevenção e conservação variam consoante o grau de degradação e a função que assume a obra de momento. Por exemplo, a conservação de um edifício histórico que preserva a integridade dos seus elementos estruturais, é diferente da conservação de um edifício que se apresenta em ruínas. O problema não é apenas a degradação dos seus materiais constituintes mas também a apresentação das ruínas.

A prevenção da biodeterioração no património cultural inclui uma série de medidas de forma a reduzir e/ou eliminar os organismos. Estas medidas intervêm directamente sobre os agentes biológicos através de métodos mecânicos, físicos, químicos e biológicos. A eficácia destas operações depende de vários factores, tais como, dos métodos adoptados, dos produtos utilizados, dos organismos presentes, do estado de conservação da obra, entre outros, mas é importante perceber que o crescimento biológico não suspende se as condições ambientais forem favoráveis para eles permanecerem no local.

A decisão de realizar ou não uma intervenção, bem como a escolha do melhor método devem ser considerados com o maior cuidado, avaliando os diferentes aspectos envolvidos no problema. Mesmo que a avaliação seja complexa, os principais pontos a serem considerados para um possível tratamento metodológico, devem ser: a identificação da origem do dano, a adequação da intervenção e os riscos relacionados

com a intervenção (Caneva et al., 2005). A primeira análise que nem sempre é fácil de resolver, deve ser se o problema é ou não de origem biológica. Um ataque biológico muitas vezes pode ser confundido com fenómenos de degradação de origem química.

Os tratamentos a partir de produtos químicos devem ser seleccionados após um diagnóstico preciso, identificando os colonizadores e as suas relações com os fenómenos de alteração presentes. Caneva et al. (2005) afirma que a necessidade de intervenção deve ter em conta vários factores que no seu conjunto contribuem para a formulação do método mais adequado, nomeadamente:

- Identificação dos colonizadores e quantificação do dano. O conhecimento físico, assim como as características morfológicas e estruturais das espécies presentes, torna possível compreender quais as condições que favorecem seu desenvolvimento, os seus ciclos de vida, a sua relação com o substrato e quais os mecanismos de biodeterioração presentes. Um tratamento só é considerado apropriado se a informação recolhida aponta para um elevado potencial de biodeterioração;
- Resultados do tratamento ao longo do tempo. Se os efeitos do tratamento são de curto prazo, a decisão deve depender da gravidade da alteração e do intervalo de tempo até voltar a colonizar. Em danos graves, o tratamento é obviamente necessário, mas é essencial haver um plano global de manutenção periódica. No caso de os danos serem imprevisíveis, não sendo possível um plano de manutenção, o tratamento torna-se supérfluo;
- Consequências do ecossistema devido à intervenção. Uma mudança no equilíbrio das comunidades microbianas resultante de um tratamento químico, com o intuito de eliminar algumas espécies, poderá induzir à proliferação de outras. Uma adequada intervenção deve ser concebida não com o intuito da remoção completa da diversidade biológica, mas com a intenção de remover as espécies mais perigosas e manter a harmonia entre a natureza e o trabalho do homem.

Quando o tratamento é inevitável, a primeira etapa é realizar um anteprojecto, definindo procedimentos úteis para uma maior eficácia. Em substratos muito degradados deve ser efectuado uma consolidação preliminar, para evitar uma maior

deterioração do estado de conservação, e uma secagem parcial da pedra de modo a melhorar a eficácia dos tratamentos (Caneva et al. 2006). Do mesmo modo, na remoção das árvores que estão enraizadas nas paredes, a operação deve ser realizada de forma a evitar o colapso total da estrutura, sendo aconselhável adicionar consolidação estrutural na intervenção.

A segunda etapa, será escolher o método mais adequado para o tratamento. A selecção do método de tratamento, mecânico, físico ou químico, está dependente do tipo de organismo presente, do tipo de substrato a ser tratado, do estado de conservação, e também dos custos envolvidos. As intervenções com métodos inadequados, por vezes podem causar mais danos que os induzidos pelos próprios organismos. Dando razão ao ditado popular: “foi pior a emenda do que o soneto”. Caneva et al. (2005) refere que as características dos vários métodos aplicados devem ser investigadas experimentalmente, de modo a determinar o seguinte:

- A eficácia sobre os macro e microrganismos;
- As interacções com o substrato;
- O melhor método para aplicação em relação a diferentes tipos de colonização biológica, materiais e estado de conservação das obras;
- Os efeitos a longo prazo e as possíveis interacções com outros produtos utilizados durante a conservação;
- Métodos inovadores e alternativas aos métodos tradicionais de desinfecção e desinfestação.

Um plano de manutenção periódico é essencial e deve ser programado tendo em conta os ritmos de crescimento das espécies envolvidas e da dinâmica da recolonização, tornando possível intervir nas fases iniciais da evolução ou mesmo prevenir tal situação. Assim, antes de qualquer intervenção de controlo de biodeterioração, é necessário debater uma série de questões: se realmente existe um problema de biodeterioração, se o dano é duradouro; se é vantajoso intervir; se é possível eliminar o organismo sem alterar o substrato; quais serão as consequências do tratamento; qual é o melhor método de tratamento e os melhores períodos para aplicá-lo, e como proceder num futuro.

3.1 Métodos Mecânicos

Os métodos mecânicos consistem em remover fisicamente o material biológico com instrumentos manuais tais como: bisturis, pincéis, escovas, espátulas, raspadeiras, entre outros. Estes métodos são muito utilizados devido à simplicidade e aos resultados imediatos. No entanto, é muito difícil conseguir uma remoção completa das estruturas vegetativas e reprodutivas das espécies presentes, pelo que a eficácia destes métodos são de pouca duração. Ou seja, a operação não é mais do que um simples corte vegetativo, sem capacidade de “cortar o mal pela raiz”, levando a um possível recrescimento dos organismos envolvidos. Por exemplo, as hifas de um líquen, após se ter procedido a um método mecânico, poderão permanecer na pedra e produzir um novo talo, logo que as condições sejam adequadas.

Este método requer que as operações sejam efectuadas com conscientes movimentos leves, visto que um substrato colonizado biologicamente, encontra-se fragilizado e modificado física e quimicamente. Perante um movimento mais brusco ou simplesmente a utilização de escovas rígidas, poder-se-á provocar o desgaste e a desagregação do substrato. Para além da simplicidade de operação deste método, também tem a vantagem de não ser necessário acrescentar algo que possa causar uma maior degradação. Quando combinados com métodos químicos apropriados, pode-se chegar a resultados bastante satisfatórios, uma vez que os métodos químicos conseguem alcançar toda a estrutura vegetativa e reprodutiva.

Os métodos mecânicos são também frequentemente utilizados para a remoção de organismos desvitalizados após um tratamento químico, onde normalmente procede-se a uma escovagem de toda a superfície tratada.

3.2 Métodos Físicos

Geralmente estes métodos prevêem o emprego de técnicas de limpeza e radiações electromagnéticas com acções biocida nos organismos a tratar. O efeito biocida produz-se pela desnaturalização ou pela separação das moléculas que constituem os

organismos tratados, após a ruptura das suas combinações químicas. As intervenções físicas não têm poder preventivo, só eliminam os organismos vivos e, por vezes, também as estruturas resistentes e reprodutivas presentes nos objectos a tratar.

A radiação ultra-violeta é um método físico utilizado em materiais inorgânicos, e mostram uma actividade germicida entre os 300 e os 200nm, com um máximo entre os 275-230nm (Caneva et al., 2005). A sensibilidade dos microrganismos perante a radiação depende da sua fase de crescimento, da natureza do substrato sobre os quais eles são encontrados e da duração da operação. A sua eficácia aumenta para baixos valores de humidade relativa (menos 50 a 60%) (Tiano, 2000), e além disso tem baixo poder de penetração, pelo que não são eficazes no tratamento de alterações profundas, tendo-se limitado para a eliminação de patinas formadas por algas em superfícies de pedra. A aplicação da radiação UV é muito simples e não dispendiosa.

A lavagem através de jactos de água também pode ser utilizada para remover os crescimentos biológicos (Figura 3.1). Podendo ser efectuado a baixas e altas pressões, dependendo da espécie envolvida, do estado fisiológico e do tipo de substrato donde se pretende remover. A eficácia da técnica é reforçada, esfregando suavemente com escovas não metálicas. Este método combinado com a escovagem é frequentemente utilizado como pré-tratamento para uma limpeza química.

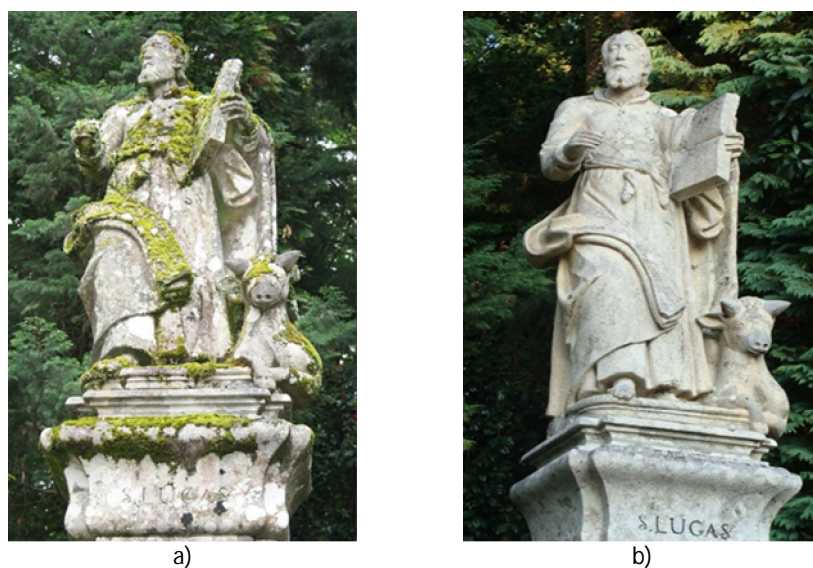


Fig. 3.1 – Elemento escultórico a) com colonização biológica e b) após limpeza a jacto de água.

A maioria dos problemas deste método é a penetração da água no substrato se não houver um cuidado nas pressões usadas e na duração da operação.

A limpeza a vapor de água é outro método físico de limpeza sendo raramente usado hoje em dia. Este método é efectuado a partir da acção combinada de calor e humidade, fazendo inchar e soltar os organismos. O vapor é direccionado à superfície num jacto em pressões de 70kPa a 480kPa (Urquhart et al., 1997). É eficaz na remoção de um crescimento orgânico, mas é lento, caro e potencialmente perigoso para os operadores. A utilização de lasers na remoção de líquenes e crostas biológicas (0.5J/cm² a 0.8J/cm²) (Caneva et al., 2005) é mais um método físico, no entanto não é muito usado.

Os organismos que requerem uma fonte de luz para viverem, podem ser reduzidos, cobrindo o substrato, se tal for possível, com invólucros e telas impermeáveis à luz. Esta técnica é mais usada em elementos escultóricos pela maior facilidade de execução (Figura 3.2). A duração do tratamento pode durar entre duas semanas e dois meses, dependendo das espécies e do seu estado fisiológico. No entanto, este método não garante a morte de todas as espécies, visto que muitos deles têm a capacidade de sobreviverem no escuro, como organismos heterotróficos.

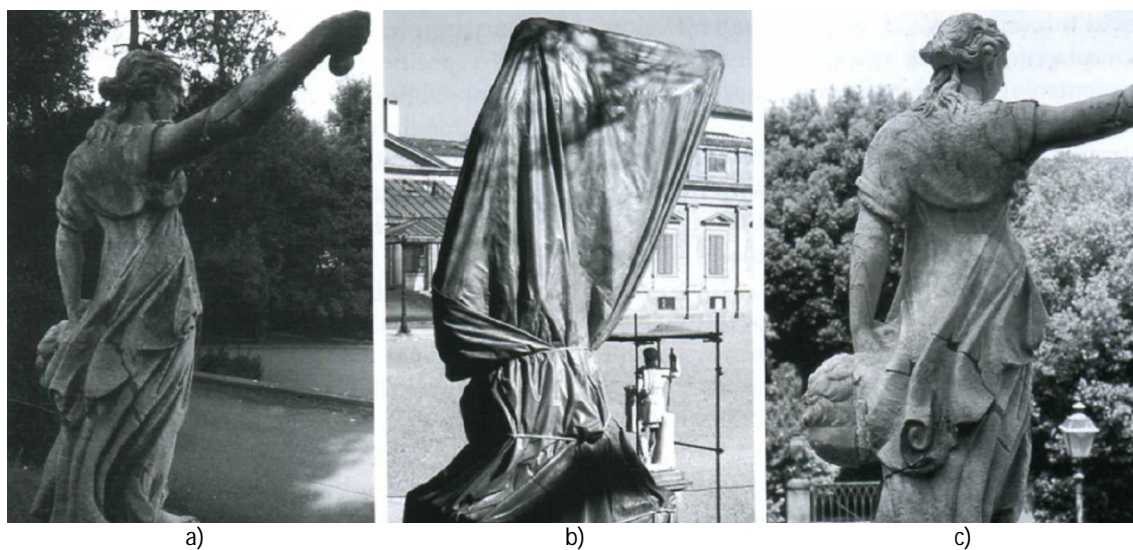


Fig. 3.2 – a) Estátua afectada por pátinas biológicas; b) Tratamento com telas impermeáveis à luz reduzindo a colonização biológica; c) Estátua após tratamento. (Caneva e tal., 2005)

Em suma, as sujeiras de dejectos das aves, servindo de alimento aos organismos, também podem ser reduzidas. Têm sido utilizados recentemente, sistemas de corrente eléctrica de baixa frequência para afastar as aves dos monumentos, sendo uma medida de conservação com vista a prevenir e controlar o ataque biológico ao ar livre. Este método é completamente inofensivo para os animais e os seres humanos.

Em todos os métodos, é necessário estabelecer medidas de operação, no que diz respeito à intensidade e duração da aplicação, bem como a distância ao objecto a tratar, de modo ao tratamento ser eficaz e duradouro.

3.3 Métodos Químicos

A limpeza e a prevenção do crescimento biológico pode ser também realizado utilizando produtos químicos ou biocidas. O termo biocida refere-se colectivamente a bactericidas, algicidas, fungicidas, liquenicidas e herbicidas, distinguindo-se pelo organismo específico a atacar, ou seja, bactérias, algas, fungos, líquenes e plantas, respectivamente. Assim, é importante identificar os organismos causadores da degradação de modo a que seja empregue o correcto produto. Uma variedade de produtos é utilizada no património cultural, agrupados por desinfectantes que matam os microrganismos, e desinfestantes que controlam as plantas e animais.

Em geral, os produtos químicos são responsáveis pela eliminação dos macro e microrganismos, embora alguns produtos têm também acção preventiva no crescimento biológico. A eficácia de qualquer produto químico depende do tipo de substrato, neste caso, da pedra, do tipo de organismo ou organismos envolvidos e do método de aplicação.

Os produtos podem ser divididos em várias categorias, segundo: a natureza química (compostos orgânicos e inorgânicos), as características dos grupos de reacção (boratos, cloratos, cobre, etc), o tipo de formulação (líquidos, sólidos, gasosos ou compostos) e o tipo de acção (agente oxidante, agente alcalino, etc). Deverão sempre cumprir alguns critérios, tais como: alta eficácia contra os organismos, não interferir

com a pedra (com a natureza, a composição e a aparência), possuir baixa toxicidade para a saúde humana e animais e baixo risco de poluição ambiental.

A eficiência do produto químico geralmente refere-se à sua capacidade de matar ou inibir o crescimento do organismo envolvido, estando claramente associada à dose do produto (expresso como quantidade de produto/unidade de superfície), ao espectro de actividade (o leque de acção contra os organismos) e à persistência de acção (prazo do tratamento em relação à permanência de resíduos tóxicos). Portanto, quanto menor for a dose necessária, maior for o leque de acção e maior for a duração contínua do tratamento, mais eficaz será o produto químico. É do senso comum pensar que aumentar a duração da aplicação e aumentar as concentrações vão dar resultados mais satisfatórios, onde frequentemente dão origem a efeitos negativos. Determinadas concentrações das soluções podem causar alterações irreversíveis na cor da pedra, no entanto, esses efeitos nunca são verificados quando o produto é usado em concentrações inferiores à recomendada (Caneva et al., 2005).

Para além das características químicas do próprio produto, a eficácia depende de outros factores, tais como: duração da aplicação, estabilidade do produto, condições meteorológicas (temperatura, vento, chuva), intensidade de luz, tipo de organismo, tipo de método utilizado, natureza e estado de conservação do substrato. A eficácia dos produtos nos organismos não é geralmente a mesma em diferentes substratos de pedra, com diferentes porosidades e composição mineralógica. A porosidade da pedra, bem como a presença de alguns minerais, como illite e esmectite, aumentam a quantidade do produto absorvido, aumentando assim o efeito do tratamento (Caneva et al., 2005). Certas substâncias químicas do produto podem interagir com os minerais da pedra, provocando erosão e dissolução dos minerais, mudança de cor e cristalização de sais, afectando assim a durabilidade do substrato.

Os produtos deverão possuir baixa solubilidade em água, pois esta característica irá ajudar na redução da taxa de lixiviação quando a água está presente, e fará o produto químico mais eficaz e mais duradouro. No entanto, os produtos podem ser lavados

pela chuva antes de terem tido tempo para agir, devendo ser aplicados durante condições secas.

A morte dos organismos depende dos requisitos específicos de cada organismo e deve ser avaliada, planeada e executada antes de iniciar operações de limpeza. Muitas vezes num substrato de pedra, estão presentes uma variedade de colónias biológicas. Para estes casos é necessário seleccionar produtos com um amplo espectro de acção, abrangendo todos os colonizadores envolvidos.

É importante ter em consideração os problemas de compatibilidade do produto com outros tratamentos e os efeitos colaterais das interacções com outras substâncias químicas. A mistura do produto com substâncias de limpeza, consolidantes e repelentes de água, e a sequência de sua aplicação devem ser todas avaliadas. As possíveis interacções negativas entre as várias substâncias, podem causar danos estéticos e a perda das propriedades para que foram escolhidos, tornando os tratamentos inúteis (repelência de água, consolidação, limpeza, etc) (Caneva et al., 2005). Assim, sempre que não haja informação sobre as interacções do produto sobre as espécies, sobre o substrato e produtos incompatíveis, deve ser pré-testado. Os profissionais que efectuem estes trabalhos devem ter conhecimento das características químicas e físicas dos produtos ou seja, da solubilidade, estabilidade e incompatibilidade com outras substâncias químicas.

Uma cuidadosa escovagem antes de um tratamento químico deve ser posta em prática, destinando-se a reduzir o volume da biomassa e assim melhorar o efeito do tratamento. Os microrganismos na fase vegetativa, sem esporos, são mais sensíveis e estão mais vulneráveis aos tratamentos químicos. No tratamento de superfícies atacadas com líquenes e cianobactérias, antes da aplicação do biocida, é aconselhável vaporizar com água sobre os organismos para accionarem a actividade metabólica, aumentando assim a eficácia do tratamento (Caneva et al., 2005).

Os métodos de aplicação dos produtos químicos, variam de acordo com: os materiais do objecto em estudo, do seu estado de conservação, do tamanho da área a tratar,

dos organismos envolvidos e sua propagação e do produto escolhido. Os métodos de aplicação para tratamento de materiais inorgânicos, como a pedra, podem ser através de pulverização, a pincel, injeção e aplicação de compressas e fumigação, no entanto os mais comuns são a pulverização e a aplicação a pincel (Tiano, 2000). A aplicação com um pincel tem a vantagem de permitir penetrações mais profundas do produto, e é recomendada em superfícies de pedra com bom estado e em áreas relativamente pequenas (Kumar, 1999). A pulverização é mais utilizada para o tratamento de grandes superfícies e quando o estado de conservação do material é mau e incerto. A sua aplicação no tratamento de uma superfície vertical, normalmente deve começar no início da superfície, seguindo horizontalmente e lentamente para permitir a propagação. No caso de os fungos estarem em fase de esporulação, o processo de pulverização deve ser efectuado com cuidado devido aos esporos serem facilmente propagados para o meio ambiente, envolvendo riscos para os operadores não protegidos (Kumar, 1999). A aplicação de compressas é mais utilizada quando a superfície contém duras incrustações. É um método aplicado com uma pasta de papel embebido numa solução diluída de produto e depois coberto com folhas de polietileno ou outro material similar, a fim de reduzir a evaporação do solvente e consequentemente aumentar o tempo de contacto das soluções do produto (Caneva et al, 2005). A injeção está mais limitada ao tratamento de herbicidas e a fumigação é mais especializada para o tratamento em locais fechados, devido aos produtos serem dispersos na forma gasosa ou a vapor na atmosfera (Caneva et al., 2005).

Após a acção dos produtos químicos, deve ser cuidadosamente retirado do substrato, com água ou outro solvente adequado. Para um tratamento de prevenção é reaplicado após a limpeza final, de forma a evitar novas colonizações.

Nas intervenções de tratamento herbicidas, no caso das plantas superiores, antes da aplicação do produto deve ser feita uma inspecção da flora presente, distinguindo as espécies que devem ser eliminadas e estar ciente dos efeitos negativos que cada espécie pode ter sobre o substrato. O uso de herbicida nas obras de pedra é especialmente adequado quando espécies indesejadas crescem e provocam danos. O planeamento destas intervenções deverá ter em conta os métodos e duração da

aplicação, que variam consoante a fisiologia, características biológicas (da espécie a ser tratada) e das condições climáticas (Caneva et al., 2005).

Contudo, a erradicação das plantas vivas, não sendo realizada da forma mais adequada, pode ser prejudicial para o substrato especialmente se têm raízes profundas e põe em perigo a própria estrutura. Nestas situações, é necessário aplicar um consolidante antes do tratamento herbicida, podendo ocorrer o desmantelamento parcial dessas estruturas para poder remover as raízes lenhosas. Na hipótese da consolidação não fazer parte do plano de intervenção é melhor não proceder ao tratamento herbicida até se poder intervir também na estrutura envolvida.

A penetração do herbicida pode ser feita por injeção, a partir das raízes ou das folhas, de forma a combater a germinação e desenvolvimento das plantas (Caneva et al., 2005). Este método evita a dispersão do herbicida para a área de tratamento, pelo que evita problemas de interferência com a pedra e riscos de saúde e de higiene no trabalho.

3.4 Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho

A grande variedade de ambientes de trabalho de conservação expõe os profissionais que trabalham neste contexto, a uma variedade de riscos de saúde. A degradação do património cultural, e em especial a biodeterioração, solicita a compreensão e a responsabilidade dos profissionais que operam neste sector para as consequências da exposição a factores de risco biológico e químicos, sendo importante referir a higiene e segurança no trabalho.

Infelizmente, ainda não existe uma consciencialização total para esta questão, a qual carece de medidas preventivas e de protecção imediatas dado o risco que podem abranger. Os operadores devem estar conscientes dos riscos que podem tomar, devendo ser responsáveis pelas medidas preventivas relacionadas com a higiene e segurança no trabalho de acordo com as legislações nacionais, nomeadamente:

- Decreto-Lei nº 84/97 de 16 de Abril, relativo à protecção da segurança e da saúde dos trabalhadores contra os riscos da exposição a agentes biológicos durante o trabalho;
- Decreto-Lei nº 290/2001 de 16 de Novembro com as alterações introduzidas pelo Decreto de Lei nº 305/2007 de 24 de Agosto, relativo à protecção da segurança e da saúde dos trabalhadores contra os riscos ligados à exposição a agentes químicos no local de trabalho.

3.4.1 Riscos Biológicos

Os agentes biológicos são microrganismos capazes de originar qualquer tipo de infecção, alergia ou toxicidade no corpo humano desde uma simples irritação a uma variedade de sintomas, de curto, médio e a longo prazo. Da sua presença nos locais de trabalho podem advir situações de risco para os trabalhadores. No entanto, não há consciência nem percepção instintiva, entre os potenciais riscos biológicos e o trabalho específico dos profissionais de conservação.

Estas precauções nas diversas actividades em causa, segue uma série de medidas, de acordo com o estipulado no Decreto-Lei n.º 84/97, de 16 de Abril relativo à protecção da segurança e saúde dos trabalhadores contra os riscos resultantes da exposição a agentes biológicos durante o trabalho. De acordo com o mesmo decreto, os agentes biológicos são classificados, conforme o seu nível de risco infeccioso, nos seguintes grupos:

- Agente biológico grupo 1: o agente biológico cuja probabilidade de causar doenças no ser humano é baixa;
- Agente biológico grupo 2: o agente biológico que pode causar doenças no ser humano e constitui um perigo para os trabalhadores, sendo escassa a probabilidade de se propagar na colectividade e para o qual existem, em regra, meios eficazes de tratamento;
- Agente biológico grupo 3: o agente biológico que pode causar doenças graves no ser humano e constitui um risco grave para os trabalhadores, sendo susceptível de se propagar na colectividade, mesmo que existam meios eficazes de tratamento;

- Agente biológico grupo 4: o agente biológico que causa doenças graves no ser humano e constitui um risco grave para os trabalhadores, sendo susceptível de apresentarem elevado nível de propagação na colectividade e para o qual não existem, em regra, meios eficazes de tratamento.

O agente biológico que não puder ser rigorosamente classificado num dos grupos anteriores, deve ser classificado no grupo mais elevado.

Os factores ambientais (temperatura, humidade, composição da atmosfera) e as condições de trabalho, podem influenciar a forma e/ou o grau em que uma substância interacciona com o organismo. A perigosidade de determinada substância biológica perigosa depende de factores que lhe são intrínsecos e de outros que lhe são extrínsecos.

Um grave problema para a saúde é a poluição do ar. A contaminação biológica no ambiente pode causar não só doenças infecciosas, mas também sintomas, como irritação das membranas mucosas, dores de cabeça e fadiga. Qualquer actividade que possa colocar o operador em contacto com os microrganismos, pode ser potencialmente nocivos para a saúde (a inalação de altas concentrações de esporos fúngicos pode causar reacções alérgicas e asma). As empresas devem avaliar os riscos mediante a determinação da natureza e do grupo do agente biológico, bem como do tempo de exposição aos técnicos a esse agente.

As medidas necessárias à eliminação ou redução dos riscos para os técnicos dependem de cada risco biológico em concreto, existindo, todavia, um número de acções comuns possíveis de implementar, nomeadamente:

- Evitar a formação de aerossóis e de poeiras durante as actividades de limpeza ou manutenção;
- Procedimentos de trabalho higiénicos;
- Impedir que o técnico fume, coma ou beba nas zonas de trabalho;
- Utilização do sinal indicativo de perigo biológico;

- Divulgar informações adequadas aos técnicos e aos seus representantes de segurança, higiene e saúde no trabalho no início da actividade profissional, e tipos de procedimentos de emergência e primeiros socorros.
- Utilizar meios de recolha, armazenagem e evacuação dos resíduos, após tratamento adequado, incluindo o uso de recipientes seguros e identificáveis sempre que necessário.

A adopção de equipamento de segurança de protecção individual (máscaras, óculos, luvas e vestuário adequado) é obrigatória quando as condições de trabalho não permitem a adopção de medidas de protecção colectiva. Esses dispositivos incluem tanto os equipamentos técnicos, como procedimentos de trabalho.

Antes de abandonar o local de trabalho, o técnico deve retirar o vestuário de trabalho e os equipamentos de protecção individual que possam estar contaminados por agentes biológicos, e guardá-los em locais separados previstos para o efeito.

3.4.2 Riscos Químicos

Os métodos químicos para tratamento da pedra também exigem uma série de medidas de higiene, segurança e saúde nas operações executadas pelos profissionais desta área. A exposição dos operadores a substâncias e produtos químicos perigosos pode constituir um factor de risco para a saúde e segurança. Há que prevenir, fazendo uma cautelosa gestão na adopção de medidas de protecção.

Para uma boa utilização do produto químico o operador deve estar informado sobre o produto a utilizar, a melhor forma da sua aplicação, a dose, os métodos e o equipamento a usar. De acordo com Decreto-Lei nº 290/2001 de 16 de Novembro, com as alterações introduzidas pelo Decreto de Lei nº 305/2007 de 24 de Agosto, relativo aos riscos ligados à exposição a agentes químicos no local de trabalho, existe um conjunto de medidas que são fundamentais e que devem estar presentes em todas as situações, nomeadamente:

- A leitura cuidadosa do rótulo do produto, respeitando rigorosamente todas as suas indicações;

- Evitar comer, beber ou fumar enquanto se usa os pesticidas, de modo a reduzir o risco de exposição oral;
- Os operadores com feridas ou lesões na pele não devem realizar qualquer trabalho com estes produtos;
- Divulgar informações aos técnicos sobre segurança, higiene e saúde no trabalho no início da actividade profissional, e tipos de procedimentos de emergência e primeiros socorros;
- Acabado o tratamento, as embalagens e outros recipientes utilizados devem ser lavados em água corrente, acondicionados e entregues aos serviços de recolha dos lixos;
- O produto sobranete e as águas de lavagem não devem ser despejados em esgotos, fossas ou na proximidade de nascentes de água.

Para evitar a respiração e o contacto com a pele, é aconselhável usar equipamento e vestuário de protecção individual, nomeadamente:

- Protecção dos olhos. Usar óculos especialmente quando se trata de produtos tóxicos e irritantes;
- Protecção do nariz e boca. Usar máscara quando o rótulo indicar, de modo a evitar a inalação de gases e poeiras, procedendo à substituição dos filtros de acordo com a recomendação do fabricante;
- Protecção das mãos: Usar luvas adequadas, sempre que se manipulem pesticidas tóxicos e quando se utilizam concentrações elevadas. Terminado o trabalho as luvas devem ser lavadas por dentro e por fora.
- Protecção do corpo: Usar fato impermeável a ácidos e solventes, ajustado nos pulsos e tornozelos, caso seja possível;
- Protecção das pernas e dos pés: Usar botas, evitando que haja um espaço desprotegido entre as botas e as calças. No final do trabalho, deve-se lavar as botas.

Os produtos podem ser classificados quanto à sua toxicidade através do seu valor de DL50 (Dose Letal 50), que representa a dose de um produto capaz de matar 50% da espécie testada. DL50 refere-se à ingestão por via oral ou cutânea e é expressa em mg

de substância por Kg de peso corporal. Num produto, esta informação é de grande importância para identificar a dose na qual são observados os efeitos tóxicos. O modo de aplicação do produto também influencia o risco toxicológico, devendo os técnicos tomar os devidos cuidados com base no nível de toxicidade do produto.

É fundamental que todos os intervenientes interpretem os símbolos e indicações de perigo, bem como as informações de risco e conselhos de precaução que figuram no rótulo e nas fichas técnicas dos produtos perigosos. Como elemento preventivo, o rótulo e as fichas técnicas constituem a primeira e indispensável informação. O utilizador assim identifica o produto, assinalando os principais riscos para a saúde, para o ambiente e para o uso seguro e correcto, evitando acidentes e indicando também as precauções a tomar na armazenagem.

A avaliação do risco da utilização de produtos químicos para o ambiente é importante, especialmente no caso de herbicidas. Numa operação sem as devidas precauções na aplicação do produto, pode acontecer de este ser derramado sobre o ambiente circundante, matando todas as espécies inseridas na envolvente. A avaliação deve incluir tanto o risco intrínseco do produto e sua dispersão como as suas consequências para o ambiente.

4. PADRÕES DE BIODETERIORAÇÃO: ESTUDOS DE CAMPO

Num tempo de grande preocupação com a reabilitação dos edifícios, a questão da estética associada à colonização biológica ganha um maior protagonismo. O património cultural, mais propriamente as construções recentes, é constituído por uma variedade de materiais, uma heterogeneidade de estruturas e detalhes arquitectónicos, que potenciam a colonização biológica. Muitas vezes, este problema é esquecido por profissionais ligados à construção e apenas recordado quando o edifício ou objecto se encontra com crescimentos biológicos.

Como forma de demonstrar a presença marcada pela colonização biológica, uma investigação efectuada por Prieto-Lamas et al. (1995) em igrejas nas proximidades de Santiago de Compostela, apontam para valores geralmente em torno de 70% de paredes revestidas por colonização biológica. Também num estudo de anomalias em diversos revestimentos em pedra natural, Neto (2008) apresentou valores de frequência, em revestimentos exteriores, de 4% para anomalias referentes à “presença de elementos biológicos ou outros” e de 39% para o grupo de alterações cromáticas (tendo em conta as observações desenvolvidas neste trabalho e em outros edifícios históricos, poderá admitir-se que uma parte destas alterações cromáticas referidas por Neto (2008), incluem contribuições nem sempre evidentes dos elementos biológicos).

Matias (2001), num estudo da deterioração da pedra granítica em monumentos históricos de Braga, considera (nestes monumentos) a colonização biológica uma causa de alteração estética generalizada, com um impacto (em termos de extensão da distribuição espacial) comparável ao das crostas negras em locais com elevados níveis de poluição.

Em seguida, apresenta-se os resultados de estudos de campo, com ênfase em obras recentes, nas cidades de Braga e Guimarães, mais propriamente no Campus de Gualtar e Campus de Azurém da Universidade do Minho, respectivamente, e também em património arquitectónico da cidade de Vigo. Pretende-se identificar as causas que

poderão estar a contribuir para o desenvolvimento da colonização biológica em património de pedra.

Adicionalmente, serão abordadas neste capítulo as soluções preconizadas para fases iniciais de projecto de forma que a manutenção do edifícios tenha uma duração mais prolongada e de modo a evitar, sempre que possível, tratamentos químicos.

Os seguintes estudos de campo serão organizados conforme o tipo de elemento construtivo: pavimentos, fachadas e muros, escadas e elementos escultóricos.

4.1 Pavimentos

Young e Urquhart (1998) referem que os elementos horizontais, as áreas próximas do chão e os elementos decorativos são os mais frequentemente colonizados. Estas tendências estão relacionadas com as características de humidade necessárias para o desenvolvimento dos organismos.

Nos pavimentos há muita sujidade que poderá ser constituída por uma diversidade de substâncias nutritivas, e contribuir como sustento para os organismos. Prieto-Lamas et al. (1995) salientam que os microsítios que estão expostos à chuva ou nos quais o substrato permanece húmido durante mais tempo, tendem a ser mais fortemente colonizados.

O efeito da inclinação é também considerado por Prieto-Lamas et al. (1995), que refere que certas espécies de líquenes ocorrem quase exclusivamente em superfícies horizontais. Uma superfície horizontal é mais propícia à acumulação de água e substâncias provenientes da atmosfera, criando situações favoráveis ao crescimento biológico.

Na Figura 4.1, apresenta-se diferentes pavimentos com colonização biológica ao longo da superfície horizontal. Um aspecto interessante destas figuras é que determinadas

áreas são mais colonizadas que outras. Tal facto poderá ser justificado pela acumulação de água nas juntas e deformações do pavimento.



Fig. 4.1 – Pavimentos de granito com crescimento biológico no a) Campus de Gualtar, e na b) Cidade de Vigo

4.2 Fachadas e Muros

Young et al. (2008) salientam que algumas fachadas de edifícios modernos são particularmente vulneráveis ao desenvolvimento de sujidade associada a colonização biológica devido a inexistência de detalhes que permitam a protecção dos paramentos em relação à água.

Na Figura 4.2a), verifica-se os filmes biológicos acompanhando o escoamento das águas da chuva e a fachada orientada a nascente, também ela revestida a placas de granito, não padecendo do mesmo aspecto. Tal observação, poderá resultar do facto de a fachada nascente encontrar-se numa posição vertical, não tão exposta, sendo mais difícil a molhagem contínua e acumulação de resíduos (poeira e partículas de poluição). Uma superfície quanto mais se aproximar do plano horizontal, acumulará maior quantidade de água, pelo que será mais benéfico à formação das colónias biológicas.

O crescimento biológico na fachada também poderá estar associado à constituição do material. Segundo Warcheid et al. (1993), os granitos ricos em feldspatos são mais susceptíveis à colonização biológica. Na Figura 4.2b) observa-se a colonização biológica

a desenvolver num determinado ponto da fachada a partir de fissura em fenocristal de feldspato.

Guillitte & Dreesen (1995) propõem que uma elevada microporosidade, associada com importantes propriedades de migração capilar de humidade e nutrientes, permitem o desenvolvimento da colonização biológica a partir de sítios de fixação. De acordo com os mesmos autores, o desenvolvimento da colonização biológica altera as condições de humidade e de nutrientes, aumentando a dispersão dos pontos de fixação inicial e alterando a cinética da colonização.



Fig. 4.2 – Fachada revestida a placas de granito (edifício construído em 1997, no Campus de Gualtar). Lado sul. a) Filmes biológicos a acompanhar o escoamento das águas da chuva; b) Colonização biológica desenvolvida a partir de fissura em fenocristal de feldspato.

Podem existir várias fontes exteriores de fornecimento de nutrientes que modificam a bioreceptividade inicial e promovam uma bioreceptividade extrínseca, como as partículas atmosféricas (Guillitte & Dreesen, 1995), os gases atmosféricos e os excrementos de aves (Young & Urquhart, 1998). Begonha (2009) menciona a presença, em pedras afectadas por contaminação salina, de espécies de diatomáceas características de ambientes salinos alcalinos.

Ortega-Calvo et al. (1995) salientam que o crescimento de biofilme de algas e a produção de matéria orgânica, podem favorecer a fixação de novas espécies. Viles & Gorbushina (2003) referem uma publicação de Ehrenberg de 1853, onde este autor conclui que os produtos extracelulares dos microrganismos podem fixar partículas atmosféricas, de forma mais eficiente do que a superfície da pedra. Os biofilmes de algas e fungos promovem a fixação de partículas atmosféricas, sais e outras

substâncias que constituem uma fonte nutritiva adicional, para o desenvolvimento da colonização biológica e consequentemente actividades de biodeterioração (Warscheid & Braams, 2000). A Figura 4.3 permite a observação da percolação da água da chuva, sendo notório os locais de infiltração e deposição dos filmes biológicos. É possível visualizar-se o efeito que os escorridos provocam sobre os filmes biológicos localizados nas juntas das placas de granito.



Fig. 4.3 – Fachada revestida a placas de granito (edifício construído em 1997, no Campus de Gualtar). Lado nascente. a) Filmes biológicos em juntas de infiltração de água; b) Topo da fachada associada ao desenvolvimento da colonização biológica.

A ausência de uma pingadeira no revestimento do topo da fachada, de encaminhamento das águas, conduz a uma presença constante de água nos mesmos locais, proporcionando um ambiente favorável aos microrganismos.

Na Figura 4.4, a parte superior dos muros estão cobertos de colonização biológica. A água da chuva quando cai sobre a superfície horizontal não esco, concentrando-se nas bordas do muro (Figura 4.4a)). Havendo uma quantidade de água suficiente nestas bordas, ela esco pela superfície adjacente, arrastando consigo toda a sujeira e substâncias que poderão servir de alimento para os organismos. Também observa-se musgos concentrados nas juntas dos revestimentos (Figura 4.4b)).

Adicionalmente, é observada a associação de colonização biológica em juntas alinhadas e abertas, sugerindo um potencial foco de promoção da colonização biológica, que decorre não da deterioração dos materiais mas das próprias especificações iniciais do projecto.



Fig. 4.4 – Muro revestido a placas de granito (Campus de Gualtar, construído em 1997). Lado norte. a) Humidade concentrada no topo do muro; b) Crescimento de musgos nas juntas das placas de granito.

Chew & Tan (2003) salientam que quando a chuva inicialmente atinge uma superfície, a escorrência superficial é aleatória e imprevisível. Estes autores discutem diversos aspectos das fachadas que promovem a presença de água e o desenvolvimento de manchas, como por exemplo, a forma das beiras (o fluxo de água será concentrado nas extremidades desses elementos), a presença de irregularidades e fissuras (a escorrência seria uniforme na ausência destas heterogeneidades) e a presença de juntas não alinhadas (que não é o caso da Figura 4.5).

Em geral a distribuição de humidade no topo das paredes e muros são irregulares e portanto as condições de promoção da colonização serão também irregulares. A água sendo um dos factores indispensáveis ao desenvolvimento, distribuição e acumulação da colonização biológica em determinados pontos de um objecto construído, pode ser considerada indicadora de condições de humidade.



Fig. 4.5 – Muros de granito com problemas de colonização biológica associada às superfícies rugosas.

Na Figura 4.5 observa-se manchas enegrecidas concentradas em várias zonas dos paramentos. Um dos factores que poderá ter contribuído para este aspecto é a rugosidade da superfície do granito, a qual acaba por ser uma característica benéfica para a acumulação de água e nutrientes. Silva et al. (1997) comparou o desenvolvimento de colonização biológica de um edifício de 1993 com outras estruturas mais antigas que não mostravam colonização biológica e concluíram que o granito utilizado apresentava uma elevada bioreceptividade associada com as propriedades do meio poroso, com a rugosidade e porosidade superficial.

Nas partes inferiores dos edifícios próximas do pavimento, é comum acumular-se a água das chuvas (Figura 4.6a)). Mesmo que a água não escorra pela fachada abaixo, os próprios salpicos da chuva, depositam resíduos e molham a superfície dos materiais. Esta acção proporciona, a longo prazo, um ambiente favorável ao crescimento de colonização biológica como se pode verificar na Figura 4.6b).

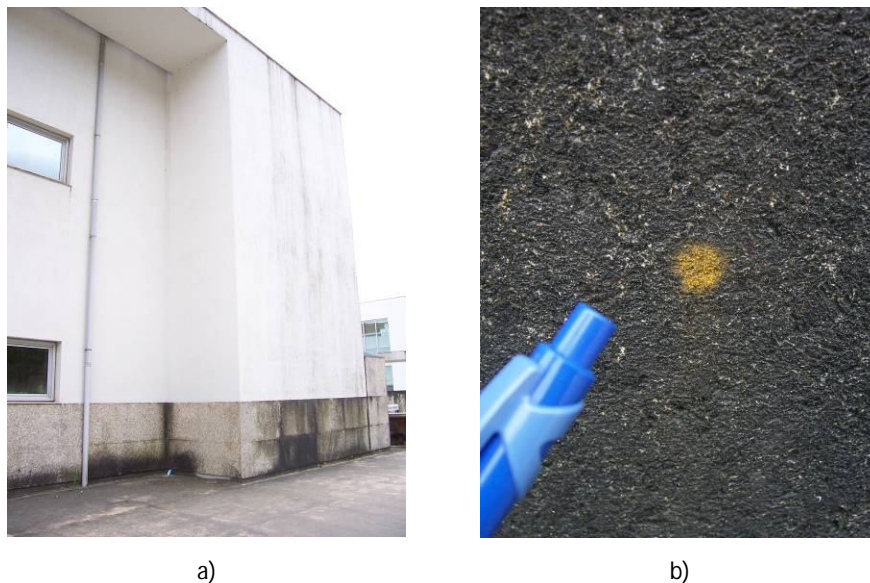


Fig. 4.6 - Fachada revestida a placas de granito, de edifício construído em 1997, no Campus de Gualtar. Lado norte. a) Zonas constantemente húmidas, próximas do pavimento; b) Líquenes formados na fachada e próxima do pavimento.

Na Figura 4.7a), pode-se verificar os filmes biológicos na fachada revestida a painéis de betão e a forma como se propagam em consequência de certos detalhes arquitectónicos. As águas da chuva recolhidas por tubos de drenagem, ao cair na pala

horizontal a um nível inferior, desenvolvem a longo prazo uma mancha biológica na fachada em forma de parábola provocada pelos constantes salpicos de água.

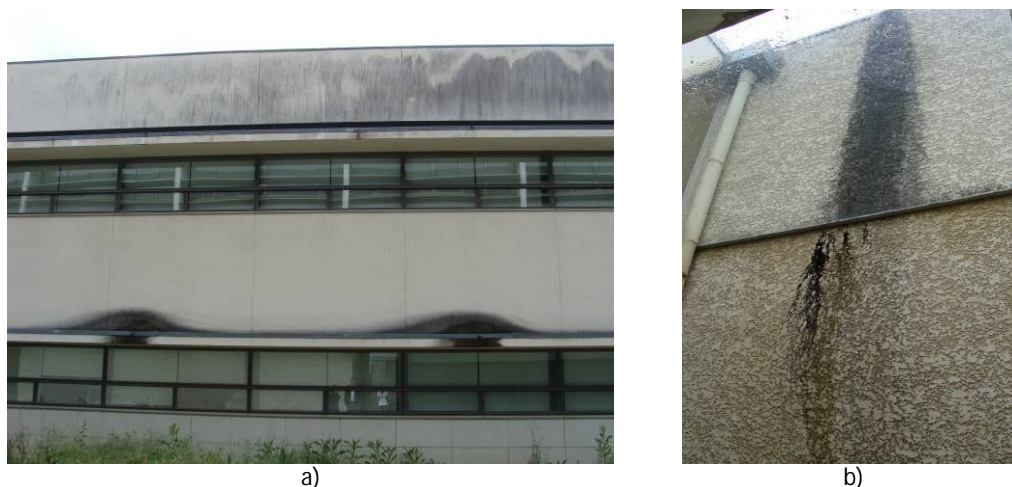


Fig. 4.7 – a) Fachada revestida a painéis de betão (edifício construído em 2001, no Campus de Azurém). Lado noroeste. Desenvolvimento de filmes biológicos devido a sistema de drenagem incorrectamente projectado; b) Fachada revestida a reboco cimentício de edifício construído em 1995, no Campus de Azurém. Lado norte. Colonização biológica associada à má execução das obras.

Muitas vezes a colonização biológica ocorre na sequência da má execução das obras. Verifica-se na Figura 4.7b) o arrastamento de filmes biológicos do exterior para o interior devido às impermeabilizações mal executadas (apesar dos materiais artificiais não caberem no âmbito desta dissertação, achou-se interessante mostrar estas situações particulares.)

Na Figura 4.8, observa-se a variedade de espécies biológicas que se poderá encontrar nas ligações de materiais. Neste caso específico poderão existir duas explicações que contribuem para estes fenómenos biológicos, uma estará relacionada com os salpicos da água da chuva constantes na interface de ligação dos diferentes revestimentos, e a outra devida a água da chuva percorrer a fachada revestida a sistema capoto, e se acumular nas placas de granito salientes em relação à anterior.

A necessidade de considerar a influência de diversos materiais presentes numa estrutura, levou Freitas (2006) a propor uma bioreceptividade estrutural resultante da interacção de diferentes materiais da estrutura, dispostos de modo e em proporções que facilitam a colonização. Esta bioreceptividade estrutural é mais complexa e mais

difícil de avaliar do que a bioreceptividade de um material único já que resulta da interacção das propriedades dos diferentes materiais que podem propiciar ou antagonizar a colonização por determinados organismos.

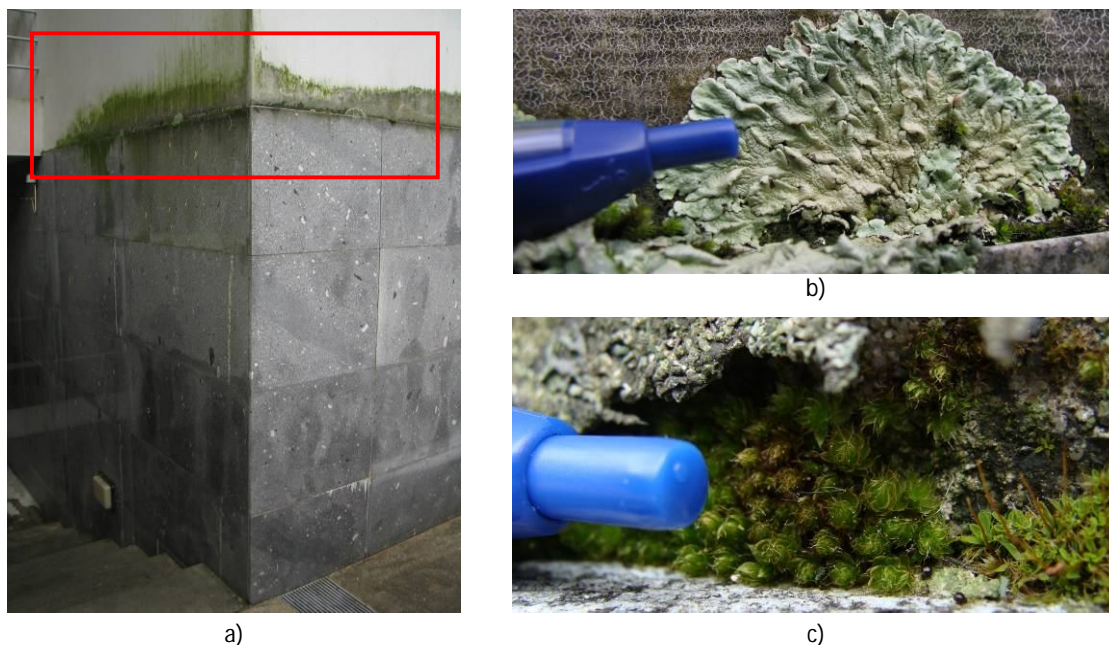


Fig. 4.8 - Fachada revestida a sistema capoto e placas de granito, de edifício construído em 1989, no Campus de Azurém. Lado norte. a) Crescimento biológico na interface de ligação entre os diferentes materiais; b) Líquen e c) Plantas.

A proposta de Freitas (2006) incide especialmente na parte da co-existência de diferentes materiais com efeitos que podem ser convergentes e divergentes. No entanto, a revisão bibliográfica e as observações realizadas no âmbito deste trabalho, sugerem que na avaliação da bioreceptividade estrutural, devem também ser considerados os aspectos morfológicos que fazem parte integrante dessa estrutura (considerados em fase de projecto). Esses aspectos morfológicos têm implicações práticas, que poderão servir de base à definição de zonas com diferentes susceptibilidades, consoante determinadas condições ambientais favoráveis.

4.3 Escadas

As escadas de acesso aos edifícios também são elementos onde a colonização biológica pode estar presente.

Na Figura 4.9 é notória a colonização biológica nos espelhos dos degraus, enquanto os cobradores dos mesmos se encontram livres deste problema. Isto poderá estar relacionado com o facto do espelho ser uma zona de passagem em que há desgaste do material, destruindo qualquer formação biológica.



Fig. 4.9 – Espelhos de escadas em granito com colonização biológica, Campus de Gualtar.

A orientação e o sombreamento através dos muros ou elementos do próprio edifício (ou de adjacentes) também poderão contribuir para o desenvolvimento desta colonização, como se poderá observar na Figura 4.9b) os filmes biológicos a acompanharem a sombra num determinado período do dia, através do paramento adjacente orientado para nascente.

O efeito do sombreamento foi estudado por Silva et al. (1997), afirmando que uma parede orientada a nascente, onde a abundância de colonização biológica é influenciada pelo efeito da sombra de um edifício adjacente, é mais desenvolvida biologicamente nas zonas que se encontram em sombra a maior parte do tempo.

4.4 Elementos Escultóricos

As estátuas enquanto objectos expostos poderão apresentar uma distribuição de objectos biológicos relacionados com a sua morfologia, nomeadamente no caso de estátuas recentes em pedra.

Conforme se pode verificar na Figura 4.10, as pátinas biológicas encontram-se depositadas nas superfícies mais expostas, enquanto nas zonas mais protegidas a superfície mantém-se relativamente limpa.



Fig. 4.10 – Elementos escultóricos em granito, na cidade de Vigo, com colonização biológica associada às suas morfologias.

As estátuas e outros elementos decorativos são elementos particularmente susceptíveis aos processos de biocolonização. Lamenti et al. (2000) observou, que estátuas expostas ao ar livre eram recolonizadas por organismos fotossintéticos passado um ano, sendo o biofilme visível macroscopicamente passados dois anos. Charola et al. (2007) referem que o período de recolonização para estátuas depende das condições envolventes: três anos, para objectos próximos de vegetação ou fontes, e perto de sete anos, para objectos situados em espaços muito expostos.

Nascimbene et al. (2009) refere que os padrões de recolonização de estátuas expostas ao ar livre pareciam estar mais relacionado com a geometria da estátua e que o restabelecimento dos líquenes era claramente influenciado pelas linhas de circulação de água. As áreas protegidas por pormenores salientes ou as que tinham forma côncava estavam livres de recolonização liquenífera.

4.5 Análise do Desenvolvimento e Propagação da Colonização Biológica

Após os estudos efectuados, de um modo geral, a principal fonte que alimenta a propagação de organismos diz respeito à água. A água que escorre pelas superfícies, de qualquer monumento ou elemento construtivo, vai ficando enriquecida em microrganismos e nutrientes, podendo contribuir assim para a sua propagação espacial. Barberousse et al. (2007) descrevem uma sequência espacial da colonização biológica, que começará nas superfícies planas do “envelope” do edifício. Posteriormente, as acções pluviométricas promovem o transporte de células ou fragmentos, através da escorrência da água nos paramentos.

Os defeitos na construção, como juntas degradadas, fissuras, defeitos de impermeabilização, constituem potenciais focos de promoção da colonização biológica, uma vez que promovem a passagem de humidade (Young & Urquhart, 1998). A distribuição da colonização será claramente afectada pela distribuição dos locais iniciais de colonização e pelas trajectórias de circulação da água, como é muito bem ilustrado nos exemplos das juntas nos padrões de biodeterioração de fachadas e muros.

O papel da degradação das juntas na promoção da colonização biológica é um aspecto frequente mencionado por muitos autores (Young & Urquhart, 1998; Peraza-Zurita et al., 2005; Chew et al., 2004; Neto, 2008), assim como a influência de aspectos ligados com o alinhamento (Chew & Tan, 2003) e a frequência das juntas (Chew et al., 2004).

A má concepção dos edifícios também poderá estar envolvida numa das causas do desenvolvimento biológico. Muitas vezes, os problemas de humidade impõem a eliminação de certos elementos de drenagem ou alteração aos projectos, no que diz respeito aos aspectos que contribuem para a acumulação de humidade. Nos estudos de campo efectuados, pode-se sugerir que, pelo menos ao nível da pedra natural, as características da estrutura global se sobrepõem às características dos materiais. Qualquer pedra poderá desenvolver colonização biológica em condições favoráveis,

sendo claro que as características dos materiais e as condições climáticas poderão determinar as taxas de desenvolvimento.

Certos aspectos arquitectónicos/engenharia são mais susceptíveis à ocorrência de colonização biológica, e deverão por isso ser considerados mais bioreceptivos, em condições semelhantes de material e de acessibilidade. O conceito de acessibilidade considerado, diz respeito à totalidade das condições prevaletentes num certo local, que podem influenciar a possibilidade de estruturas reprodutoras alcançarem esse mesmo local e lá se instalarem (Heimans, 1954). Estes locais merecem portanto uma maior atenção ao nível de projecto ou de estratégias de pré-tratamento ou admitindo que serão inevitavelmente colonizados.

De forma a compreender a propagação dos microrganismos, desenvolveu-se um modelo conceptual de fixação dos primeiros organismos colonizadores e do desenvolvimento de novas colónias biológicas, baseada nas seguintes guias:

- Inicialmente, formam-se alguns focos de colonização em locais com presença de humidade prolongada – superfícies horizontais, como beirais, topo de paramentos, entre outros;
- A partir dos locais iniciais de colonização exemplificados no ponto anterior, as águas que escorrem vão propagar os organismos colonizadores;
- Os novos locais de colonização resultantes da propagação, poderão constituir novos focos de organismos e auxiliar na propagação para pontos inferiores.

Com base no modelo conceptual, e na revisão de bibliografia realizada, sugere-se a necessidade de orientar o combate à colonização biológica de forma específica, dirigida aos locais de início de colonização e de propagação das soluções contaminantes, evitando o tratamento generalizado de superfícies.

Um plano de intervenção não pode começar por abarcar o tratamento das zonas atacadas, sem primeiro antever a eliminação das condições que promovam a colonização biológica. Assim como Magalhães (2000) propôs, num estudo efectuado sobre a colonização de muros, a desactivação e drenagem de águas pelas gárgulas,

uma vez que um possível tratamento dos blocos não eliminava as condições que contribuam para a colonização biológica.

Após a análise poderá mesmo afirmar-se que a colonização biológica é o problema mais frequente nos locais estudados, sendo muito mais importante do que as escorrências de calcite, manchas de humidade ou fracturas.

4.6 Táticas e Estratégias de Controlo contra a Colonização Biológica

O reconhecimento do efeito dos elementos arquitectónicos no desenvolvimento da colonização biológica, permite sugerir alterações dos pormenores arquitectónicos para evitar essa colonização (Gaylarde & Morton, 1999; Chew & Tan, 2003; Chew et al., 2004; Flores-Colen et al., 2008). Gaylarde & Morton (1999) afirmam que uma construção bem projectada requererá pouco tratamento, mas reconhecem também que raramente as construções são projectadas tendo em conta o problema da biodeterioração pelo que a necessidade de tratamentos manter-se-á.

O conceito de bioreceptividade estrutural deve ser aqui proposto, podendo ser definido como a influência de uma estrutura ou detalhe arquitectónico no desenvolvimento da colonização biológica, que pode ter diferentes valores ao longo da estrutura. Chew & Tan (2003) defendem a necessidade do design arquitectónico tendo em consideração aspectos que afectam a manutenção das fachadas como por exemplo o problema de escorrências superficiais.

Price (1996) distinguiu princípios de conservação preventiva da conservação activa. A primeira actua na prevenção das causas da deterioração, habitualmente mantendo a água afastada da pedra, por exemplo utilizando estruturas de protecção e a segunda exige um tratamento.

Como se verificou, os materiais são menos susceptíveis à formação de biofilmes e biodeterioração quando se encontram em condições secas ou de baixa humidade. Warscheid & Braams (2000) propõem que o controlo do problema da colonização

deverá começar com medidas destinadas a prevenir as condições de humidade e de nutrientes favoráveis ao desenvolvimento da colonização e que só em última instância se deverá recorrer ao uso de produtos químicos, no caso de não ser viável implementar o tipo de medidas anteriormente mencionado. Num estudo efectuado por Cataldo et al. (2005) que incidiu sobre mármore, desaconselharam o uso de produtos químicos pelo risco de corrosão do substrato e não assegurarem um efeito duradouro. Suihko et al. (2007) indicaram que os produtos químicos deverão ser utilizados em último recurso, sobretudo pelos riscos toxicológicos.

O tratamento superficial e a permeabilidade dos materiais usados na construção de edifícios e objectos de arte, também devem ser debatidos nas fases de projecto. As superfícies mais rugosas e com elevada porosidade promovem maior taxa de colonização biológica, na medida que originam uma maior acumulação de água e de nutrientes. Todavia, um material muito poroso num local exposto a vectores biológicos mas sem humidade, não desenvolverá colonização biológica.

Gaylarde & Morton (1999) propõem diversas soluções para prevenir a biodeterioração, nomeadamente, utilizar materiais mais resistentes como o aço inoxidável e o plástico, evitar o uso de materiais susceptíveis e em locais favoráveis à colonização biológica, alterar as condições ambientais (redução de humidade e alteração do pH) através de uma limpeza rigorosa e a utilização de revestimentos protectores (tintas e vernizes). Mas salientam que esta última medida poderá trazer ainda mais problemas se a pedra já estiver infectada ou se existir penetração de água sob o revestimento.

A presença de focos de água promovem a heterogeneidade da colonização biológica e por isso devem ser evitados nas construções. Alves (1997) referiu num caso de uma parede granítica, que a distribuição da colonização biológica estava fortemente associada com as escorrências através das gárgulas no tecto. O estudo da distribuição dos líquenes realizado por Magalhães (2000) numa parede granítica, afectada por escorrências de água das gárgulas, mostrou uma presença mais significativa nas zonas sob as gárgulas e mais escassa nas zonas entre as faixas de escorrência. Também foi observado pelo mesmo autor, um zonamento lateral de pátinas biogénicas do centro

para a periferia na zona da escorrência da gárgula, com intensa colonização biológica na zona do centro da mancha, com líquenes, musgos e alguns fetos.

Em projecto dever-se-á conceber determinadas medidas construtivas e estruturais que possam funcionar como tácticas para evitar a propagação superficial da colonização biológica. As superfícies horizontais, como topo de muros e palas horizontais de sombreamento, muitas vezes não dispõem de sistemas de drenagem de água não sendo possível escoar a água que se acumula. Estas superfícies deveriam ser executadas com uma ligeira inclinação para as águas escoarem, e então, estas águas seriam encaminhadas para redes de drenagem. Não sendo possível aquela solução, deveria existir pelo menos um elemento que quebrasse o fluxo (por exemplo pingadeiras) de modo a não se propagar para outras superfícies adjacentes.

As manchas de humidade podem ser reduzidas com detalhes arquitectónicos que protegem as superfícies. Muitos vezes os projectistas colocam as referidas palas horizontais e verticais nos edifícios, funcionando como sombreamentos para os vãos envidraçados. Estas soluções de sombreamento podem também ser muito úteis para dar apoio aos sistemas de drenagem e proteger as superfícies localizadas em cotas inferiores. Deste modo não se criam condições favoráveis ao crescimento biológico, uma vez que o arrastamento de soluções constituídas por água, nutrientes, poeiras e partículas de poluição são interrompidos não contaminando as superfícies adjacentes.

Em revestimentos de fachadas com placas de granito, as juntas entre as placas podem criar ambientes favoráveis ao crescimento biológico, como se observou no levantamento fotográfico de fachadas e muros. Chew et al. (2004) consideram a presença de juntas abertas um aspecto positivo para a manutenção das fachadas, permitindo a drenagem de qualquer água que se infiltra, especialmente se forem fiadas de juntas alinhadas. Em Chew et al. (2004) as juntas fechadas recebem uma pior classificação em termos de manutenção, uma vez que a circulação da água está muito dependente do comportamento dos materiais utilizados para o fecho da junta.

O tratamento de fissuras e fendas são locais ideais para os organismos se instalarem, pelo que devem ser locais tratados através do refechamento das mesmas. Quando as fissuras já estão num estado avançado, sendo impossível intervir desta forma, deverá ser aplicado um tratamento químico.

Em superfícies horizontais (pavimentos) e elementos escultóricos, entre outros, é complicado a sua protecção pelo que estes exigirão planos de manutenção para se apresentarem isentos de organismos. Nascimbene & Salvadori (2008) consideram que, no caso de estruturas que não podem ser protegidas, é muito difícil evitar a recolonização e recomendam, para estas situações programas de manutenção.

Na base das fachadas, também poderiam ser tomadas medidas para evitar os constantes salpicos de água impura, levando a uma frequente molhagem dessa zona, como demonstrado no levantamento fotográfico de fachadas e muros. Barberousse et al. (2006) refere algumas medidas para evitar esse efeito, como a colocação de uma camada de cascalho na base das fachadas para absorção da água e evitar os salpicos. Também propõe a colocação de protecções na parte superior das fachadas e sugere a possibilidade dos arquitectos repensarem no “envelope” dos edifícios para controlar a circulação da água.

Um outro aspecto importante na estratégia de combate à colonização biológica passa, pela manutenção periódica com limpeza da colonização inicial, de forma a evitar a constituição de um biofilme favorável ao desenvolvimento de novos organismos e a propagação da contaminação inicial. Com base no modelo conceptual desenvolvido, de fixação dos organismos colonizadores, sugere-se a necessidade de orientar o combate à colonização biológica das fachadas verticais de forma específica. Ou seja, uma medida dirigida aos locais de início de colonização e de propagação das soluções contaminantes, evitando o tratamento generalizado de superfícies. Esta estratégia carece de validação por ensaios *in situ* mas se tiver suporte implicará consequências positivas ao nível financeiro e ao nível ambiental, associadas com a diminuição do consumo de produtos químicos.

Muitos autores defendem um plano de manutenção através uma simples limpeza mecânica, de forma a precaver uma proliferação de outros organismos mais difíceis de se eliminar. Cataldo et al. (2005) sugerem a realização de limpeza mecânica recorrente para evitar a acumulação de sedimentos orgânicos que podem servir como meio para o desenvolvimento de colonização biológica. Barberousse et al. (2006) sugerem a hipótese da inibição do crescimento das algas, poder prevenir o estabelecimento de cianobactérias.

Warscheid et al. (1988) avaliaram os efeitos da limpeza com água sob pressão, apresentando para a maior parte dos organismos considerados, diminuições assinaláveis mas não o seu total desaparecimento (considerando unicamente os locais inspeccionados imediatamente após a limpeza). No entanto, mantendo-se as condições que promovem a colonização biológica, uma simples limpeza não evitará o seu reaparecimento. Terreros & Alcalde (1996), num estudo de um monumento em calcário, referem que três anos após uma extensa limpeza com água, as zonas que não tinham sido tratadas com biocidas apresentavam algas, líquenes e musgos. A aplicação de produtos químicos provocando a morte dos organismos existentes, pode levar ao seu desaparecimento ao longo do tempo e ter um efeito inibidor de novos crescimento, durante um determinado período. Estes aspectos são muito relevantes, tendo em consideração o desenvolvimento recorrente de colonização biológica e as repetidas intervenções, assim como os potenciais efeitos erosivos dessas intervenções no substrato tratado.

De acordo com GCI & IHAH (2006), Hale defendeu num trabalho de 1984, que a aplicação dos produtos químicos iria fazer desaparecer a colonização biológica com o tempo e que não seria necessário realizar limpeza mecânica. Este mesmo trabalho propõe o retratamento periódico das superfícies, com períodos variáveis em função da orientação e da presença de árvores.

Gaylarde & Gaylarde (2000) desenvolveram ensaios com duas concentrações de um produto químico, sendo observado o desaparecimento da alteração visual pela simples aplicação do produto e que a solução mais concentrada tinha um efeito muito mais

duradouro. Neste mesmo trabalho é também proposto que a inibição do crescimento dos organismos fototróficos fornece também protecção contra outros colonizadores que dependem deles, por exemplo os fungos. Charola et al. (2007), propõem um procedimento de “intervenção mínima” para manter uma aparência uniforme dos elementos pétreos. O autor sugere o uso mínimo de produtos químicos com baixas concentrações e ao controlo do período necessário para a recolonização, limitando as operações de limpeza.

Alguns autores consideram que a limpeza contraria um dos princípios fundamentais da conservação uma vez que não é reversível (Price ,1996).

5. INTERVENÇÃO NUMA FACHADA DE GRANITO – ENSAIO DE CAMPO

Actualmente, também há um forte interesse em conservar o património cultural com o objectivo de reter na memória o carácter das nossas cidades. A preocupação em se conservar o que merece sê-lo, consiste em devolver aos bens culturais a resistência estrutural necessária à sua segurança e em melhorar a sua estética. A manutenção da aparência primitiva das fachadas e o desejo de restabelecer a riqueza das variações e tonalidades dos materiais, inscrevem-se nesta tendência e testemunham uma preocupação de respeito pelo aspecto original e pela envolvente construída.

A limpeza das fachadas promove um sentimento de orgulho no património construído, revelando detalhes arquitectónicos únicos da essência de um edifício. Não deve ser apenas considerada como uma intervenção estética, mas também como um meio de prolongar a vida dos seus materiais. Devia, por isso, fazer parte da manutenção normal das edificações. Contudo, a limpeza é uma operação delicada que pode produzir prejuízos irreversíveis se não for encarada com discernimento e conduzida com atenção e ajuda de técnicas especializadas, podendo revelar-se mais destruidora que cem anos de exposição às intempéries (Centre Scientifique et Technique de la Construction, 1995).

Nesta óptica, dedicou-se empenhadamente uma intervenção na fachada de uma capela, aplicando os métodos mecânicos e químicos de limpeza contra a colonização biológica, que penalizavam a estética da fachada e contribuíam para a degradação do substrato. Para além da limpeza, foi aplicado um tratamento de prevenção à colonização biológica. Nos dias de hoje, estes tipos de métodos são muito utilizados na conservação dos monumentos e permite maiores garantias de eliminação e prevenção de crescimentos biológicos, num período considerável. Com esta intervenção, procurou-se avaliar um dos métodos de limpeza e de prevenção utilizáveis em superfícies pedra, recorrendo a produtos químicos comerciais com propriedades específicas para eliminar os organismos e evitar ou retardar uma futura colonização.

Este estudo foi efectuado em três fases: limpeza, tratamento de prevenção e controlo. A limpeza foi efectuada de 18 a 30 de Novembro de 2008 e o tratamento químico de 1

a 12 de Dezembro de 2008. A partir desta última data até 15 de Setembro de 2009 foi feito um controlo da possível existência de organismos sobre o substrato.

5.1 Localização geográfica

A limpeza foi realizada na Capela da Ascensão (Figura 5.1), situada no Terreiro dos Evangelistas (ou Largo das Três Capelas), na vertente norte do Bom Jesus do Monte, na cidade de Braga. Está inserida numa praça octogonal, com três capelas, interpostas por quatro fontes com estátuas dos evangelistas e ao centro um chafariz ornamental. Segundo Oliveira (1999), as três capelas do Terreiro dos Evangelistas terão sido construídas entre 1756 e 1765.



Fig. 5.1 – Capela da Ascensão, Bom Jesus do Monte, em Braga

De acordo com a medição do GoogleEarth, esta capela tem como coordenadas geográficas (WGS84 datum) 41°33'N e 8°22'W, estando à altitude 404m e distando aproximadamente 35km do litoral (Figura 5.1 e 5.2).

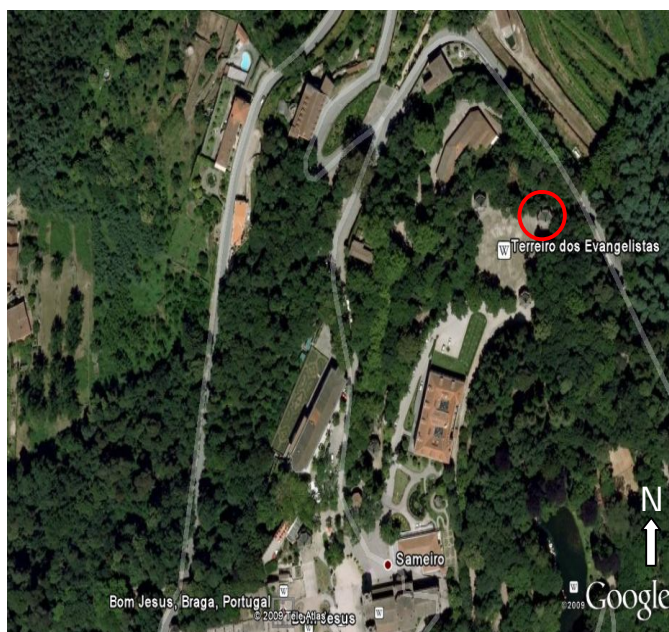


Fig. 5.2 – Localização da Capela da Ascensão (GoogleEarth)



Fig. 5.3 – Terreno Monte do Bom Jesus (GoogleMaps)

A Capela da Ascensão apresentava colonização biológica em todas as superfícies de pedra nas várias orientações das fachadas. No entanto, as colunas de pedra inseridas nos cantos da fachada viradas a norte foram as superfícies seleccionadas para o ensaio de campo (Figura 5.4 e 5.5). O local escolhido correspondia a determinados factores que poderiam influenciar a curto prazo o desenvolvimento biológico, tais como: as características da envolvente (densa vegetação), a orientação, o grau de sombreamento e a extensão dos actuais crescimentos biológicos.



Fig. 5.4 – Localização das colunas graníticas de ensaio (GoogleEarth)



Fig. 5.5 - Características da envolvente da fachada orientada a norte do objecto de estudo.

Em termos climáticos, a região de Braga regista elevadas precipitações e atenuação dos ventos secos e frios provenientes do interior da Península Ibérica (Sequeira Braga, 1988).

No estudo do comportamento dos monumentos face à intempérie, é importante saber caracterizar alguns parâmetros ambientais essenciais do local onde se localiza o edifício, tais como temperatura, humidade relativa e precipitação, procurando interpretar as interacções atmosfera-substrato. Assim, do ponto de vista climático, não existem dados em concreto para o Bom Jesus, mas existem dados de duas estações próximas: Braga/Posto agrário (estação climatológica; 41°33'N; 8°24'W; Hs (altitude) = 190m) e Sameiro (estação udométrica; 41°32'N; 8°23'W; Hs = 580m) (Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, 1988).

Na figura 5.6 podemos observar os valores da precipitação no período de 1941-1970 (únicos dados disponibilizados pela fonte), obtidos a partir das normais climáticas para Braga/Posto Agrário e Sameiro (Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, 1988).

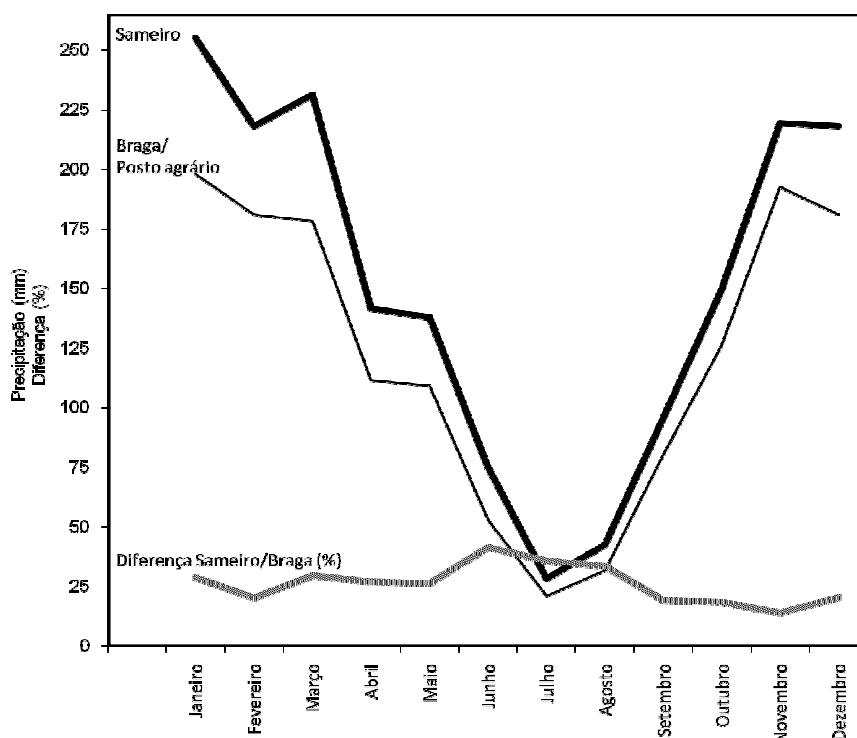


Fig. 5.6 – Precipitação média mensal de 1941-1970 de Braga/Posto Agrário e Sameiro

Considerando estas normais climatológicas, para a precipitação observa-se que a evolução dos valores médios mensais ao longo do ano é semelhante nas duas estações. No entanto, a precipitação registada na estação do Sameiro é superior ao valor obtido na estação de Braga/Posto Agrário em todos os meses, variando essa diferença entre 14% no mês de Novembro e 42% no mês de Junho, ou seja, em termos de média anual a precipitação na estação do Sameiro é 28% superior. Tendo em consideração que a altitude é um dos factores decisivos nos valores de precipitação da região (Lima, 1994; 2001) é expectável que o Bom Jesus tenha um valor intermédio entre os dois valores. A precipitação média anual da Capela no período de 1941-1970, utilizando as equações propostas por Lima (1994; 2001) e considerando uma altitude de 400m, foi de 1625mm, sendo um valor muito próximo da média entre as duas estações consideradas.

Na figura 5.7 e 5.8 pode observar-se os valores médios mensais da temperatura e da humidade relativa (medida às 9 horas e às 18 horas para um período compreendido entre 1941-1970 e entre 1950-1970, respectivamente) na estação climatológica de Braga (Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, 1988):

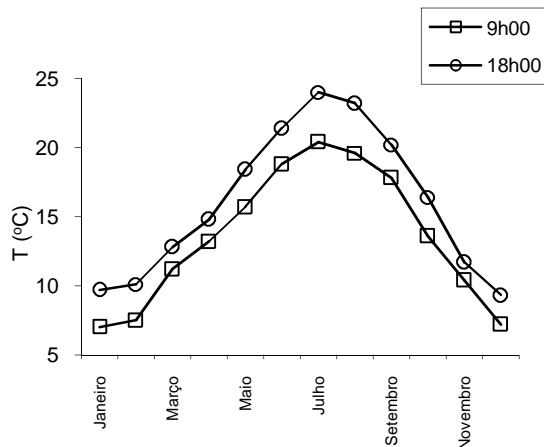


Fig. 5.7 - Evolução anual dos valores médios de temperatura na estação climatológica de Braga de 1941-1970 para as 9 horas e de 1950-1970 para as 18 horas.

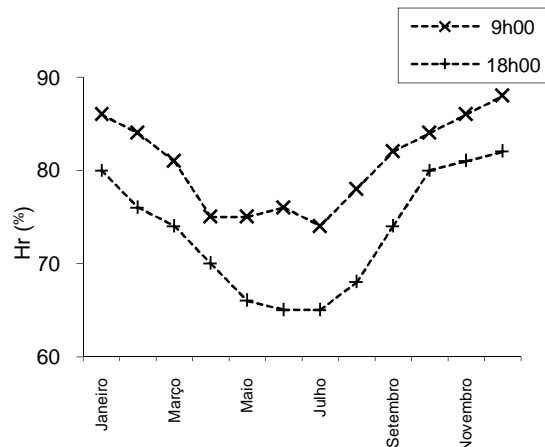


Fig. 5.8 - Evolução anual dos valores médios de humidade relativa na estação climatológica de Braga de 1941-1970 para as 9 horas e de 1950-1970 para as 18 horas.

Verifica-se que os parâmetros considerados, precipitação, temperatura e humidade relativa, mostram uma clara tendência evolutiva ao longo do ano, com temperaturas

mais elevadas associadas a precipitações e humidades relativas mais baixas no verão, com alguma simetria em relação a esta época do ano.

Com base nas normais climatológicas referidas podem calcular-se valores médios para o período de ensaio (13 de Dezembro até 15 de Setembro), correspondentes a temperaturas médias de 16°C e humidades relativas médias de 75%. Segundo Caneva et al. (2005) os microrganismos crescem em ambientes com humidades relativas superiores a 65-70%. Perante as condições climáticas de Braga e as características físicas do local de estudo (exposição e envolvente), poderá então concluir-se, que o local escolhido está sujeito a condições favoráveis para desenvolvimento de colonização biológica, como se poderá verificar na figura 5.9, o aspecto das colunas antes de qualquer intervenção.



Fig. 5.9 – Colunas graníticas da fachada da Capela da Ascensão, orientadas a norte.
a) Coluna à esquerda; b) Coluna à direita.

5.2 Geologia local

A capela em estudo situa-se sobre a mancha do chamado granito do Sameiro (Ferreira et al., 2000), do qual podem ser observados afloramentos a escassos metros, muito meteorizados. No entanto, este granito do Sameiro não foi utilizado na construção desta capela, nem nas outras capelas e estátuas e igreja do Bom Jesus (possivelmente pelo seu grão grosseiro).

A observação macroscópica das pedras da capela (Figura 5.10), em comparação com as características das rochas graníticas das proximidades listadas e caracterizadas em Ferreira et al. (2000), sugere que terá sido utilizado o chamado granito de Briteiros, admitindo que terá sido proveniente de local próximo.



Fig. 5.10 - Observação macroscópica do granito da Capela de Ascensão

De acordo com as informações recolhidas em Ferreira et al. (2000) o granito de Briteiros é leucogranito moscovítico-biotítico de grão fino ao qual é atribuída uma idade de $300\text{Ma} \pm 1\text{Ma}$. Estes mesmos autores apresentam dados de caracterização normativa que indicam teores de biotite muito variáveis (entre 3 e 9%) sendo que os teores de moscovite indicados por aqueles autores variam entre 9% e 12%.

Para além das semelhanças macroscópicas, a mancha deste granito encontra-se relativamente perto e na estrada que liga o Bom Jesus à Citânia de Briteiros, encontrando-se importantes afloramentos com evidências de antigas extracções de pedra. A granularidade fina deste granito e a coloração clara poderão ter contribuído

para a sua escolha, uma vez que a granularidade fina permite a sua utilização em elementos ornamentais detalhados e a sua cor clara seria apreciada no período Barroco em que as capelas foram construídas, como se observa em vários monumentos de Braga (um aspecto que fora anteriormente salientado por informação oral de Eduardo Oliveira em Alves, 1997).

5.3 Produtos Aplicados

Os produtos químicos foram seleccionados tendo em conta a disponibilidade comercial. Pretendia-se deste modo testar qual dos produtos comerciais seleccionados seriam os mais eficazes no que diz respeito à limpeza e ao retardamento de uma possível recolonização das colunas da Capela. Foram seleccionados quatro produtos químicos, em que três deles indicavam explicitamente uma pré-limpeza aplicando um outro produto complementar.


De seguida descreve-se os quatro produtos químicos e seus respectivos produtos complementares:

a) *Produto 1*

- *Descrição*: produto recomendado para superfícies sujeitas ao crescimento de fungos e algas, que requer antes da aplicação uma desinfecção de toda a superfície com o objectivo de matar os microrganismos e esporos presentes;
- *Utilização*: desinfecção de paredes e tectos infectados, no interior e exterior, em diversos materiais tais como, reboco, pedra, barro, fibrocimento e estuque;
- *Características*: líquido transparente, inflamável, completamente miscível, com uma densidade de 0.944kg/l e pH 6, irritante e contém substâncias perigosas (2-(2-butoxiethóxi)etanol, 2-propanol, cloreto de didecildimetilamónio e 2-octil-2H-isotiazole-3-ona);

- *Identificação dos perigos:*

Quadro 5.1 – Informação regulamentar do produto 1

Classificação do perigo	Frases de risco	Frases de segurança
 Xi Irritante	R10 - Inflamável	S2 – Manter fora do alcance das crianças
	R 36/38 – Irritante para os olhos e pele	S7 – Manter o recipiente bem fechado
	R43 – Pode causar sensibilização em contacto com a pele	S24/25 – Evitar o contacto com a pele e os olhos
	R 52/53 – Nocivo para os organismos aquáticos	S37/39 – Usar luvas e equipamento protector para os olhos/face
		S46 – Em caso de ingestão consultar o médico

b) *Produto complementar 1*


- *Descrição:* lixívia

- *Utilização:* desinfecção de superfícies

- *Características:* solução com 13% a 13.5% de cloro activo

- *Identificação dos perigos:*

Quadro 5.2 – Informação regulamentar do produto complementar 1

Classificação do perigo	Frases de risco	Frases de segurança
 Corrosivo	R10 - Inflamável	S1/2 – Guardar fechado à chave fora do alcance das crianças
	R 36/38 – Irritante para os olhos e pele	S28 – Após contacto com a pele, lavar imediatamente com água
	R43 – Pode causar sensibilização em contacto com a pele	S45 – Em caso de acidente ou de indisposição consultar um médico
	R 52/53 – Nocivo para os organismos aquáticos	S50 – Não misturar com ácidos

c) *Produto 2*


- *Descrição*: produto recomendado para eliminar e prevenir o crescimento de fungos, algas, musgos e outros microrganismos, e exige, antes da sua aplicação, uma limpeza de toda a superfície com o objectivo de remover os microrganismos e esporos presentes;

- *Utilização*: tratamento de substratos infectados, no interior ou exterior, como paredes, telhados, monumentos, empenas, entre outros, nos diversos materiais tais como, reboco, pedra, betão, barro, fibrocimento e estuque;

- *Características*: líquido incolor acastanhado, não inflamável, solúvel em água, com uma densidade de $1.02 \pm 0.02\text{kg/l}$ e pH 11.5 ± 0.5 , pouco tóxico, com efeitos cancerígenos e contém substâncias perigosas ((etilendioxi) dimetanol, etanomalina, 1,2-benzisotiazol-3(2H)-ona), hidróxido de lítio monoidrato);

- *Identificação dos perigos*:


Quadro 5.3 – Informação regulamentar do produto 2

Classificação do perigo	Frases de risco	Frases de segurança
 Xn Nocivo	R40 - Possibilidade de efeitos cancerígenos	S2 – Manter fora do alcance das crianças
	R43 – Pode causar sensibilização em contacto com a pele	S13 – Manter afastado de alimentos e bebidas incluindo os dos animais
		S36/37 – Usar vestuário de protecção e luvas adequadas
		S46 – Em caso de ingestão, consultar imediatamente o médico
		S51 – Utilizar somente em locais bem ventilados

d) *Produto complementar 2*

- *Descrição*: produto recomendado para eliminar e remover o crescimento de fungos, algas, musgos, líquenes, sujidades e outras manchas;
- *Utilização*: limpeza de substratos contaminados, no interior ou exterior, tais como, pedra, betão, reboco, barro, entre outros;
- *Características*: líquido transparente amarelado, não inflamável, solúvel em água, com uma densidade de $1.15 \pm 0.02\text{kg/l}$ e $\text{ph} > 12$, muito corrosivo, pouco tóxico mas contendo substâncias perigosas (hidróxido de sódio, hipoclorito de sódio, etilendiamintetracetato tetrasódico).
- *Identificação dos perigos*:


Quadro 5.4 – Informação regulamentar do produto complementar 2

Classificação do perigo	Frases de risco	Frases de segurança
 <p>Corrosivo</p>	R35 - Provoca queimaduras graves	S1/2 – Guardar fechado à chave e fora do alcance das crianças
	R43 – Pode causar sensibilização em contacto com a pele	S26 – Em caso de contacto com os olhos, lavar imediatamente e abundantemente com água e consultar um especialista
		S27/28 – Em caso de contacto com a pele, retirar imediatamente toda a roupa contaminada e lavar
		S36/37/39 – Usar vestuário de protecção, luvas adequadas e equipamento protector adequados para a vista e face
		S45 – Em caso de acidente ou de indisposição, consultar imediatamente um médico
		S64 – Em caso de ingestão, lavar repetidamente a boca com água
		P151 – Não utilizar com outros produtos, podendo libertar gases perigosos

c) *Produto 3*

- *Descrição:* produto recomendado para superfícies susceptíveis ao crescimento de fungos, algas e líquenes, com o objectivo de proteger os substratos desses organismos;
- *Utilização:* prevenção em superfícies expostas aos agentes atmosféricos;
- *Características:* líquido transparente, insolúvel em água, não altera o aspecto do suporte e tem baixa toxicidade.
- *Identificação dos perigos:*

Quadro 5.5 – Informação regulamentar do produto 3

Classificação do perigo	Frases de risco	Frases de segurança
 Xi - Irritante	R 36/38 – Irritante para os olhos e pele	S2 – Manter fora do alcance das crianças
	R43 – Pode causar sensibilização em contacto com a pele	S7 – Manter o recipiente bem fechado
		S24/25 – Evitar o contacto com a pele e os olhos
		S37/39 – Usar luvas e equipamento protector para os olhos/face
		S46 – Em caso de ingestão consultar o médico

d) *Produto complementar do produto 3*

Não há indicação de produto complementar relativo ao produto 3.

e) *Produto 4*

- *Descrição:* líquido desinfectante de alto poder bactericida, fungicida, algicida e viricida, com compostos muito mais activos que os amónios quaternários


convencionais;

- *Utilização:* desinfecção na indústria alimentar, hotelaria, hospitais, matadouros, fábricas, oficinas, entre outros; tratamento de fachadas, paramentos e substratos de pedra, cerâmicos, metal, vidro, betão, e outros, para evitar a proliferação de microrganismos;

- *Características:* líquido incolor, não inflamável, solúvel em água, com uma densidade de $0.99 \pm 0.04\text{kg/l}$ e pH 7-9, não é tóxico, biodegradável, pode provocar queimaduras e contém substâncias perigosas (composto de amónio quaternário);

- *Identificação dos perigos:*

Quadro 5.6 – Informação regulamentar do produto 4

Classificação do perigo	Frases de risco	Frases de segurança
 Corrosivo	R35 - Provoca queimaduras graves	S2 – Conservar fora do alcance das crianças
		S26 – Em caso de contacto com os olhos, lavar imediatamente e abundantemente com água e consultar um especialista
		S36/37/39 – Usar vestuário de protecção, luvas adequadas e equipamento protector adequados para a vista e face
		S45 – Em caso de acidente ou de indisposição, consultar imediatamente um médico

f) Produto complementar 4


- *Descrição:* limpador germicida concentrado e com grande poder como detergente e desengordurante, composto por sais, emulsionantes, humectantes e tensoactivo não iónico;

- *Utilização:* limpeza e desinfecção de pavimentos, paredes, mobiliário, e outros, na indústria alimentar, hotelaria, matadouros, hospitais, fábricas, oficinas, etc;

- *Características:* líquido transparente amarelado, não inflamável, solúvel em água, com uma densidade de $1.05 \pm 0.04\text{kg/l}$ e pH 12-13.5, irritante e não contém substâncias perigosas.

- *Identificação dos perigos:*

Quadro 5.7 – Informação regulamentar do produto complementar 4

Classificação do perigo	Frases de risco	Frases de segurança
 Xi - Irritante	R 36/38 – Irritante para os olhos e pele	S1/2 – Guardar fechado à chave e fora do alcance das crianças
		S25 – Evitar o contacto com os olhos
		S26 – Em caso de contacto com os olhos, lavar imediatamente e abundantemente com água e consultar um especialista
		S37/39 – Usar luvas adequadas e equipamento protector adequados para a vista e face
		S45 – Em caso de acidente ou de indisposição, consultar imediatamente um médico

5.4 Procedimento experimental

Numa primeira fase, foi feita uma limpeza mecânica, com o objectivo de eliminar a microflora e outras substâncias presentes que prejudicavam a pedra e influenciavam o desenvolvimento dos organismos. E numa segunda fase, após os tratamentos de limpeza, procedeu-se à aplicação dos produtos químicos como tratamento e prevenção da colonização biológica.

5.4.1 Segurança e Saúde no Trabalho

Para um bom funcionamento, antes da aplicação de qualquer produto, fez-se um planeamento adequado no que diz respeito à saúde e segurança no trabalho. Estes princípios reuniam os equipamentos de segurança indispensáveis em métodos de limpeza física e química, uma vez que implicou o contacto com resíduos sólidos, líquidos, poeiras, entre outros.

Os produtos químicos utilizados tinham informação (nas fichas técnicas de segurança) necessária relativa à utilização correcta e outras condições necessárias para garantir a segurança e a ausência de risco para a saúde. Os equipamentos de protecção usados na limpeza e prevenção das áreas em estudos (Figura 5.11) foram os seguintes:

- luvas de protecção;
- óculos de protecção;
- máscara;
- botas;
- fato impermeável.

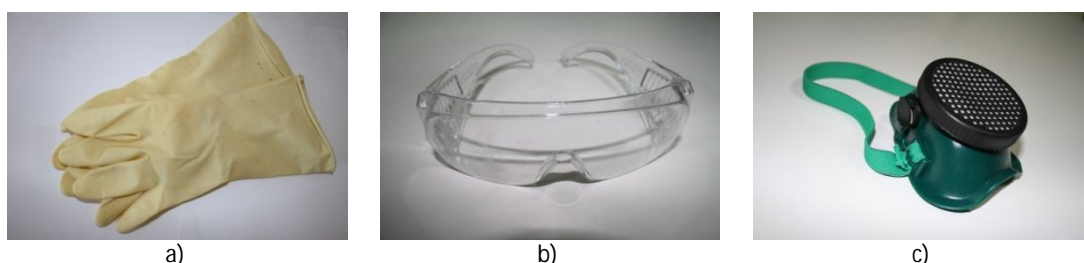


Fig. 5.11 – Alguns equipamentos de segurança na aplicação de produtos químicos. a) Luvas; b) Óculos de protecção e c) Máscara

Após a aplicação dos produtos, todos os equipamentos e utensílios utilizados foram cuidadosamente limpos. Os produtos sobrantes conservaram-se nas embalagens, bem fechadas, em local seguro e fresco e em posição correcta.

5.4.2 Tratamento de Limpeza

A primeira actividade foi proceder a uma limpeza mecânica, eliminando a matéria mais grosseira, como microflora, partículas da poluição atmosférica, poeiras, vegetação parasita, dejectos de aves, entre outras prejudiciais à pedra. Deste modo foi preparado o suporte de ensaio, antes da aplicação de qualquer produto químico de limpeza. A superfície de pedra foi completamente saturada com água limpa através de uma bomba pulverizadora (Fig. 5.12), de maneira que a sujidade biológica fosse amolecendo. Após se efectuar uma molhagem, escovou-se, utilizando uma escova macia de fibras de plástico (Fig. 5.13), excluindo todas as escovas de fios metálicos ou de cerdas naturais que poderiam riscar e danificar a pedra.



Fig. 5.12 – Pulverizador com água limpa a amolecer o substrato de granito



Fig. 5.13 – Escovas utilizadas na limpeza do substrato

A limpeza mecânica quando terminada apresentava o seguinte aspecto:



Fig. 5.14 – Aspecto de uma das áreas a testar da coluna esquerda, após limpeza mecânica.



Fig. 5.15 – Aspecto de uma das áreas a testar da coluna direita, após limpeza mecânica.

Observa-se na Figura 5.14, umas manchas claras nos locais onde existiam líquenes. Este aspecto na coluna granítica interpreta a acção dos líquenes crustáceos (aderem à superfície como crostas) que existiam sobre a superfície. Na limpeza efectuada verificou-se uma grande dificuldade em eliminar estes líquenes.

Após a limpeza mecânica, foram aplicados os produtos de limpeza (produtos complementares) nas respectivas superfícies de teste, tal como aconselhavam as fichas técnicas dos vários produtos de prevenção. Estes produtos de limpeza foram empregues, de modo a eliminar todos os organismos sobrantes no substrato.

Antes da aplicação de qualquer produto de limpeza, fez-se a divisão das zonas que iriam ser tratadas com os diferentes produtos químicos. Os produtos químicos foram aplicados de forma que a coluna da direita tivesse uma disposição de produtos e a

coluna da esquerda locais opostos (Figura 5.16). As áreas de teste tinham as seguintes dimensões: $0.20 \times 0.35\text{m}^2$. A superfície restante entre as áreas de ensaio foi dedicada a zona tampão de segurança, para evitar misturas por escorrimentos, entre os produtos químicos.

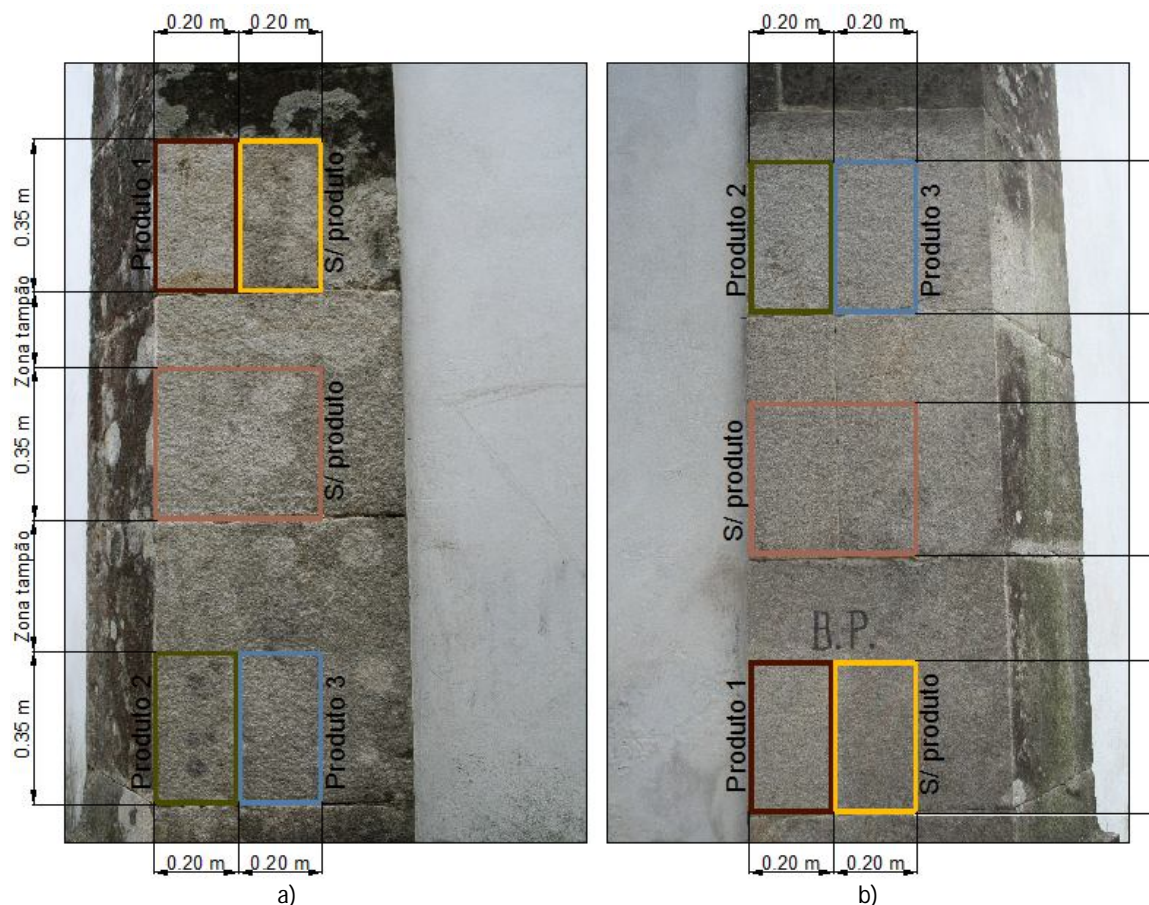


Fig. 5.16 – Combinações dos produtos químicos de aplicados nas colunas de granito. a) Coluna à direita; b) Coluna à esquerda.

Os produtos foram aplicados das seguintes formas:

a) Produto complementar do produto 1

A superfície foi lavada com uma solução de hipoclorito de sódio a 5% (lixívia), sendo efectuada com a ajuda de uma escova de fibras de plástico. Afim de remover todo o hipoclorito, a superfície foi passada várias vezes com água limpa, de modo a retirar a alcalinidade deixada no suporte. Depois de secar, a superfície ficou pronta para receber o produto 1.

b) Produto complementar do produto 2

Agitou-se o produto até homogeneizar. De seguida, aplicou-se na superfície de teste através de um pincel, tipo trincha e escovou-se de forma a impregnar nos poros da pedra e assim erradicasse os organismos. Foi deixado actuar durante 24 horas de modo a que o produto actuasse sobre as espécies mais resistentes. Após as 24 horas, passou-se várias vezes por água limpa em abundância até remover toda a alcalinidade do substrato. Depois de a superfície estar seca, ficou pronta para receber o produto de prevenção.

c) Produto complementar do produto 3

Não há indicação de produto complementar relativa ao produto 3.

c) Produto complementar do produto 4

Agitou-se o produto até homogeneizar. Seguidamente, aplicou-se na superfície sem diluir com a ajuda de um pulverizador e esfregou-se com a escova. Deixou-se actuar durante uns minutos, e enxaguou-se várias vezes com água limpa. Após a secagem, a superfície preparada para receber o produto 4.

Após a limpeza química com todos os produtos complementares de limpeza, verifica-se nas Figuras 5.17 e 5.18, que o produto designado por Produto 1 provocou alterações cromáticas à superfície onde foi aplicado. Logo, não deverá ser usado numa intervenção de limpeza uma vez que interfere com as características do substrato, podendo afectar com a durabilidade do granito.



Fig. 5.17 – Aspecto da coluna à esquerda após limpeza química.



Fig. 5.18 - Aspecto da coluna à direita após limpeza química.

5.4.3 Tratamento de Prevenção

A eficácia do tratamento depende dos métodos e produtos utilizados. No entanto o crescimento é inevitável em fases precedentes se as condições ambientais favorecerem o crescimento biológico.

A segunda fase do trabalho diz respeito à prevenção, ou seja, na aplicação dos produtos finais (de prevenção). De seguida descreve-se as operações efectuadas para cada produto preventivo referido anteriormente, na tentativa de controlar o crescimento biológico.

a) *Produto 1*

Foi preparado o produto 1, agitando até uma homogeneização completa e de seguida

fez-se uma diluição de 1:5 com água, conforme sugeria a ficha técnica. Com a superfície seca aplicou-se a primeira demão da solução com a ajuda do pincel. Passadas 24 horas, tempo mínimo necessário para que actuem os elementos activos do líquido, procedeu-se a uma escovagem da superfície e deu-se a segunda demão da solução. Assim foi concluído o tratamento de prevenção.

b) Produto 2

Antes da aplicação, homogeneizou-se o produto. Com a superfície seca, foi empregue o produto com o pincel, actuando 24 horas. Depois, a superfície foi escovada e enxaguada várias vezes por água. Após secagem total voltou-se a aplicar o produto.

c) Produto 3

O produto foi agitado até homogeneizar. Depois foi aplicado sobre a superfície seca com o pincel e esperou-se 24 horas. Após 24 horas, escovou-se e foi aplicado novamente o produto. A ficha técnica deste produto não tinha informação suficiente do modo de aplicação, logo foi empregue conforme a experiência que se obteve na aplicação dos outros produtos.

d) Produto 4

Como em todos os outros produtos, homogeneizou-se o produto antes da aplicação. Na superfície a aplicar, após estar devidamente seca, aplicou-se o produto 4 sem diluir por pulverização, de modo a penetrar nos poros do suporte. Sem passar por água, deixou-se actuar o produto durante 24 horas. Passadas as 24 horas foi aplicado novamente o produto através do pincel. Sem enxaguar, finalizou-se o tratamento de prevenção.

Após a limpeza química com todos os produtos complementares de limpeza, as superfícies das colunas apresentavam o seguinte aspecto:

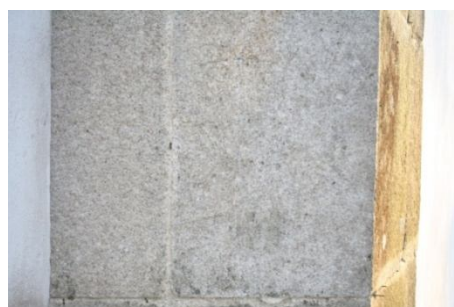


Fig. 5.19 - Aspecto da coluna esquerda após produto preventivo.

Fig. 5.20 - Aspecto da coluna direita após produto preventivo.

Após a aplicação dos biocidas preventivos não se detectou nenhuma alteração do substrato rochoso. A partir desta fase foi iniciado um controlo das superfícies graníticas durante 9 meses.

5.4.4 Resultados e Discussão

Como forma de se controlar as alterações associadas aos crescimentos biológicos que poderiam ocorrer nas zonas de estudo, efectuaram-se visitas mensais, registando-se fotograficamente as mesmas. A apresentação do controlo não é relevante visto não ter

ocorrido alterações no período de estudo, o qual teve uma duração de 9 meses. Assim, apresenta-se na Figura 21 apenas o registo final, datado a 15 de Setembro de 2009.

Durante este período as superfícies de ensaio não foram atacadas por colonização biológica, não sendo possível comparar produtos comerciais, no entanto observou-se que um dos produtos químicos interferiu com o substrato a nível de alterações cromáticas (produto complementar 1). Por conseguinte, num tratamento químico, os produtos devem ser sempre ensaiados antes da aplicação no edifício ou objectos de arte, de forma a evitar interferências com o substrato. Apresenta-se em seguida apenas o registo final, datado a 15 de Setembro de 2009:



Fig. 5.21 – Coluna à direita após 9 meses do tratamento de prevenção.



Fig. 5.22 – Coluna à esquerda após 9 meses do tratamento de prevenção.

No período de controlo, o substrato (com e sem tratamento) manteve-se isento de colonização biológica, mesmo estando inserido em condições favoráveis de ocorrência. No entanto, a análise foi efectuada num prazo muito curto para se obter resultados associados ao crescimento biológico.

5.5 Análise Económica

Actualmente, as intervenções de conservação têm custos muito elevados, sendo necessário avaliar a viabilidade económica de intervenções técnicas, pelas quais possibilitam um edifício voltar a ter o desempenho satisfatório. Com esta preocupação, fizeram-se análises de custo associadas à manutenção de fachadas com presença de colonização biológica, com o objectivo de se chegar às situações mais rentáveis e práticas. Para isso foram estimados dois tipos de intervenção (Quadro 5.8),

em dois paramentos com o mesmo comprimento e com alturas distintas. No paramento 1 e 2 foi considerado um comprimento de 10m e uma altura 2m e 10m, respectivamente (Figura 5.25).

Quadro 5.8 – Tipos de Intervenções simuladas

INTERVENÇÃO	
Paramento 1	Limpeza mecânica H = 2m e L=10m
	Limpeza mecânica + limpeza química + Prevenção e H = 2m e L=10m
Paramento 2	Limpeza mecânica H = 10m e L = 10m
	Limpeza mecânica + limpeza química + Prevenção e H = 10m e L = 10m

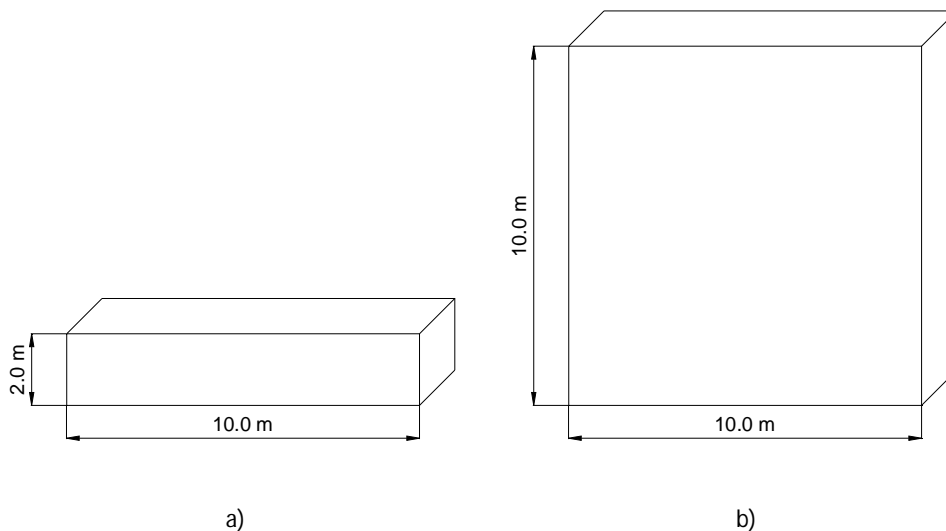


Fig. 5.23 – Paramentos de Intervenção. a) Paramento 1; b) Paramento 2

Nas intervenções foram simuladas dois tipos de limpeza, uma simples limpeza mecânica através de uma escovagem e sem aplicação de produtos biocidas e a outra, acrescentando biocidas para limpeza e prevenção. Os produtos biocidas e o modo de aplicação simulados são os mesmos aplicados na Capela da Ascensão. Com esta análise pretendia-se elaborar um plano de manutenção de exemplos práticos, influenciados por determinados parâmetros de custo e obter as intervenções mais económicas perante diferentes condições.

Nesta simulação foram ponderados todos os custos envolvidos, desde mão-de-obra, consumo de água, produtos químicos e andaime (quando aplicável), para um plano de manutenção de três anos. Com base em bibliografia consultada (Mansch & Bock (1996)), estimou-se que os primeiros indícios de colonização biológica surgiam após um ano com uma limpeza mecânica e após três anos com a aplicação de produtos químicos.

Os rendimentos de cada tarefa foram baseados nas tabelas técnicas de Paz Branco (1983). No entanto, três aspectos foram tidos em conta no que diz respeito ao rendimento dos diferentes trabalhos implícitos.

- Nas intervenções estimadas para a qual se efectuou uma limpeza mecânica combinada com produtos químicos, foram considerados rendimentos superiores que uma simples limpeza mecânica (sem produtos), uma vez que leva a esforços menos morosos;
- Na aplicação dos produtos químicos não há trabalhos parados durante as horas exigidas de actuação (pelas fichas técnicas) do produto sobre o substrato. Este aspecto é conseguido com a separação de áreas, ou seja, determinada área fica em “banho maria” (sob o efeito do produto), enquanto o especialista inicia a limpeza em áreas adjacentes. Tal procedimento é importante quando a obra envolve andaimes (custos de aluguer).
- No tratamento químico de prevenção foi considerado duas aplicações, pelo que o rendimento será metade da aplicação do produto de limpeza visto que o modo de aplicação é semelhante.

Os dados base e resultados de custo das diversas simulações serão apresentados em seguida, organizadas segundo os produtos de prevenção aplicados: Produto 1, Produto 2, Produto 3 e Produto 4.

a) Produto 1

Quadro 5.9 – Dados considerados na simulação de custos de intervenção – Produto 1

DADOS BASE			
Mão de obra		Quantidade	1
		Trabalho (h/dia)	8
		Rendimento (escovagem sem produto) (h/m²)	1,5
		Rendimento (escovagem com produto) (h/m²)	0,7
		Rendimento (aplic. produto limpeza) (h/m²)	0,12
		Rendimento (aplic. produto prevenção) (h/m²) 2 aplicações	0,24
		Mão de obra (€/hora)	
Produtos	Produto 1 (limpeza)	0,1	0,2
		1,00	4,90
	Produto compl. 1 (prevenção)	0,2	0,2
		12,50	5,54
Andaime		Custo transporte (€)	150,00
		Custo (c/ mont. e desmont.) (€/m²)	5,00
		Custo (aluguer) (€/dia.m²)	0,05
Água		Consumo (m³/m²)	0,005
		Custo (€/m³)	2,00
Manutenção		Limpeza mecânica (anos)	1
		Limpeza química (anos)	3

Quadro 5.10 – Análise de Custos das diferentes intervenções no Paramento 1 – Produto 1

INTERVENÇÃO	PARAMENTO 1				
	Limpeza mecânica		Limpeza mecânica + Limpeza química + Prevenção		
	Escovagem		Escovagem	Produto compl. 1	Produto 1
Altura (m)	2,0			2,0	
Comprimento (m)	10,0			10,0	
Área (m²)	20,0			20,0	
Rendimento (trabalho) (h/m²)	1,5		0,7	0,1	0,2
Duração (h)	30,0		14,0	2,4	4,8
Total (h)	30,0			21,2	
Custos	CUSTOS DA INTERVENÇÃO				
Mão de obra total (€)	300,0			212,0	
Produtos (€)	-			52,0	
Água (€)	0,6			0,8	
Andaime (€)	-			-	
Custo total (€)	300,6			264,8	
Custo total (€/m²)	15,0			13,2	
Intervenção em 3 anos (€)	901,8			264,8	
Custos comparativos (%)	240,6				

Quadro 5.11 – Análise de Custos das diferentes intervenções no Paramento 2 – Produto 1

INTERVENÇÃO	PARAMENTO 2			
	Limpeza mecânica	Limpeza mecânica + Limpeza química + Prevenção		
	Escovagem	Escovagem	Produto compl. 1	Produto 1
Altura (m)	10,0		10,0	
Comprimento (m)	10,0		10,0	
Área (m²)	100,0		100,0	
Rendimento (trabalho) (h/m²)	1,5	0,7	0,1	0,2
Duração (h)	150,0	70,0	12,0	24,0
Total (h)	150,0		106,0	
Custos	CUSTOS DA INTERVENÇÃO			
Mão de obra total (€)	1500,0		1060,0	
Produtos (€)	-		260,0	
Água (€)	3,0		4,0	
Andaime (€)	681,3		672,1	
Custo total (€)	2184,3		1996,1	
Custo total (€/m²)	21,8		20,0	
Intervenção em 3 anos (€)	6552,8		1996,1	
Custos comparativos (%)	228,3			

b) *Produto 2*

Quadro 5.12 – Dados considerados na simulação de custos de intervenção – Produto 2

DADOS BASE			
Mão de obra		Quantidade	1
		Trabalho (h/dia)	8
		Rendimento (escovagem sem produto) (h/m²)	1,5
		Rendimento (escovagem com produto) (h/m²)	0,7
		Rendimento (aplic. produto limpeza) (h/m²)	0,12
		Rendimento (aplic. produto prevenção) (h/m²) 2 aplicações	0,24
		Mão de obra (€/hora)	10,00
Produtos	Produto 2 (limpeza)	Consumo (l/m²)	0,2
		Custo (€/l)	4,90
	Produto compl. 2 (prevenção)	Consumo (l/m²)	0,2
		Custo (€/l)	5,54
Andaime		Custo transporte (€)	150,00
		Custo (c/ mont. e desmont.) (€/m²)	5,00
		Custo (aluguer) (€/dia.m²)	0,05
Água		Consumo (m³/m²)	0,005
		Custo (€/m³)	2,00
Manutenção		Limpeza mecânica (anos)	1
		Limpeza química (anos)	3

Quadro 5.13 – Análise de Custos das diferentes intervenções no Paramento 1 – Produto 2

INTERVENÇÃO	PARAMENTO 1			
	Limpeza mecânica	Limpeza mecânica + Limpeza química + Prevenção		
	Escovagem	Escovagem	Produto compl. 2	Produto 2
Altura (m)	2,0		2,0	
Comprimento (m)	10,0		10,0	
Área (m²)	20,0		20,0	
Rendimento (trabalho) (h/m²)	1,5	0,7	0,1	0,2
Duração (h)	30,0	14,0	2,4	4,8
Total (h)	30,0		21,2	
Custos	CUSTOS DA INTERVENÇÃO			
Mão de obra total (€)	300,0		212,0	
Produtos (€)	-		41,8	
Água (€)	0,6		0,8	
Andaime (€)	-		-	
Custo total (€)	300,6		254,6	
Custo total (€/m²)	15,0		12,7	
Intervenção em 3 anos (€)	901,8		254,6	
Custos comparativos (%)	254,3			

Quadro 5.14 – Análise de Custos das diferentes intervenções no Paramento 2 – Produto 2

INTERVENÇÃO	PARAMENTO 2			
	Limpeza mecânica	Limpeza mecânica + Limpeza química + Prevenção		
	Escovagem	Escovagem	Produto compl. 2	Produto 2
Altura (m)	10,0		10,0	
Comprimento (m)	10,0		10,0	
Área (m²)	100,0		100,0	
Rendimento (trabalho) (h/m²)	1,5	0,7	0,1	0,2
Duração (h)	150,0	70,0	12,0	24,0
Total (h)	150,0		106,0	
Custos	CUSTOS DA INTERVENÇÃO			
Mão de obra total (€)	1500,0		1060,0	
Produtos (€)	-		208,8	
Água (€)	3,0		4,0	
Andaime (€)	681,3		672,1	
Custo total (€)	2184,3		1944,9	
Custo total (€/m²)	21,8		19,4	
Intervenção em 3 anos (€)	6552,8		1944,9	
Custos comparativos (%)	236,9			

c) *Produto 3*

Quadro 5.15 – Dados considerados na simulação de custos de intervenção – Produto 3

DADOS BASE			
Mão de obra		Quantidade	1
		Trabalho (h/dia)	8
		Rendimento (escovagem sem produto) (h/m²)	1,5
		Rendimento (escovagem com produto) (h/m²)	-
		Rendimento (aplic. produto limpeza) (h/m²)	-
		Rendimento (aplic. produto prevenção) (h/m²) 2 aplicações	0,24
Produtos	-	Consumo (l/m²)	-
		Custo (€/l)	-
	Produto 3 (prevenção)	Consumo (l/m²)	0,2
		Custo (€/l)	12,75
Andaime		Custo transporte (€)	150,00
		Custo (c/ mont. e desmont.) (€/m²)	5,00
		Custo (aluguer) (€/dia.m²)	0,05
Água		Consumo (m³/m²)	0,005
		Custo (€/m³)	2,00
Manutenção		Limpeza mecânica (anos)	1
		Limpeza química (anos)	3

Quadro 5.16 – Análise de Custos das diferentes intervenções no Paramento 1 – Produto 3

INTERVENÇÃO	PARAMENTO 1			
	Limpeza mecânica	Limpeza mecânica + Limpeza química + Prevenção		
	Escovagem	Escovagem	-	Produto 3
Altura (m)	2,0		2,0	
Comprimento (m)	10,0		10,0	
Área (m²)	20,0		20,0	
Rendimento (trabalho) (h/m²)	1,5	1,5	-	0,2
Duração (h)	30,0	30,0	-	4,8
Total (h)	30,0		34,8	
Custos	CUSTOS DA INTERVENÇÃO			
Mão de obra total (€)	300,0		348,0	
Produtos (€)	-		51,0	
Água (€)	0,6		0,8	
Andaime (€)	-		-	
Custo total (€)	300,6		399,8	
Custo total (€/m²)	15,0		20,0	
Intervenção em 3 anos (€)	901,8		399,8	
Custos comparativos (%)	125,6			

Quadro 5.17 – Análise de Custos das diferentes intervenções no Paramento 2 – Produto 3

INTERVENÇÃO	PARAMENTO 2			
	Limpeza mecânica		Limpeza mecânica + Limpeza química + Prevenção	
	Escovagem	Escovagem	-	Produto 3
Altura (m)	10,0		10,0	
Comprimento (m)	10,0		10,0	
Área (m²)	100,0		100,0	
Rendimento (trabalho) (h/m²)	1,5	1,5	-	0,2
Duração (h)	150,0	150,0	-	24,0
Total (h)	150,0		174,0	
Custos	CUSTOS DA INTERVENÇÃO			
Mão de obra total (€)	1500,0		1740,0	
Produtos (€)	-		255,0	
Água (€)	3,0		4,0	
Andaime (€)	681,3		686,3	
Custo total (€)	2184,3		2685,3	
Custo total (€/m²)	21,8		26,9	
Intervenção em 3 anos (€)	6552,8		2685,3	
Custos comparativos (%)	144,0			

d) *Produto 4*

Quadro 5.18 – Dados considerados na simulação de custos de intervenção – Produto 4

DADOS BASE			
Mão de obra		Quantidade	1
		Trabalho (h/dia)	8
		Rendimento (escovagem sem produto) (h/m²)	1,5
		Rendimento (escovagem com produto) (h/m²)	0,7
		Rendimento (aplic. produto limpeza) (h/m²)	0,12
		Rendimento (aplic. produto prevenção) (h/m²) 2 aplicações	0,24
		Mão de obra (€/hora)	10,00
Produtos	Produto 4 (limpeza)	Consumo (l/m²)	0,2
		Custo (€/l)	4,90
	Produto compl. 4 (prevenção)	Consumo (l/m²)	0,2
		Custo (€/l)	5,54
Andaime		Custo transporte (€)	150,00
		Custo (c/ mont. e desmont.) (€/m²)	5,00
		Custo (aluguer) (€/dia.m²)	0,05
Água		Consumo (m³/m²)	0,005
		Custo (€/m³)	2,00
Manutenção		Limpeza mecânica (anos)	1
		Limpeza química (anos)	3

Quadro 5.19 – Análise de Custos das diferentes intervenções no Paramento 1 – Produto 4

INTERVENÇÃO	PARAMENTO 1			
	Limpeza mecânica		Limpeza mecânica + Limpeza química + Prevenção	
	Escovagem		Escovagem	Produto compl. 4
Altura (m)	2,0			2,0
Comprimento (m)	10,0			10,0
Área (m²)	20,0			20,0
Rendimento (trabalho) (h/m²)	1,5		0,7	0,1
Duração (h)	30,0		14,0	2,4
Total (h)	30,0			21,2
Custos	CUSTOS DA INTERVENÇÃO			
Mão de obra total (€)	300,0			212,0
Produtos (€)	-			62,4
Água (€)	0,6			0,8
Andaime (€)	-			-
Custo total (€)	300,6			275,2
Custo total (€/m²)	15,0			13,8
Intervenção em 3 anos (€)	901,8			275,2
Custos comparativos (%)	227,7			

Quadro 5.20 – Análise de Custos das diferentes intervenções no Paramento 2 – Produto 4

INTERVENÇÃO	PARAMENTO 2			
	Limpeza mecânica		Limpeza mecânica + Limpeza química + Prevenção	
	Escovagem		Escovagem	Produto compl. 4
Altura (m)	10,0			10,0
Comprimento (m)	10,0			10,0
Área (m²)	100,0			100,0
Rendimento (trabalho) (h/m²)	1,5		0,7	0,1
Duração (h)	150,0		70,0	12,0
Total (h)	150,0			106,0
Custos	CUSTOS DA INTERVENÇÃO			
Mão de obra total (€)	1500,0			1060,0
Produtos (€)	-			312,0
Água (€)	3,0			4,0
Andaime (€)	681,3			672,1
Custo total (€)	2184,3			2048,1
Custo total (€/m²)	21,8			20,5
Intervenção em 3 anos (€)	6552,8			2048,1
Custos comparativos (%)	219,9			

Analisando os resultados dos custos de intervenção, verifica-se que quando efectuadas as intervenções relativas ao Produto 1, Produto 2 e Produto 4, o custo por metro quadrado de superfície é inferior em relação à simples limpeza mecânica. Na aplicação do Produto 3 já não se sucede tal facto, a sua utilização apresenta um custo por metro quadrado superior à limpeza mecânica, devido ao produto não exigir um produto complementar de limpeza. Isto obriga a que seja efectuada uma limpeza mecânica antes do tratamento, de forma a deixar a superfície isenta de colonização biológica. Esta acção conduz a um aumento do esforço físico, provocado pela ausência da utilização de produtos químicos sobre os organismos. No entanto, como considerou-se que a eficiência do Produto 3 tinha uma duração de 3 anos, o custo final da intervenção torna-se mais económico, face aos custos de três intervenções de limpeza mecânica (eficiência limitada a um ano). Entre os dois paramentos verifica-se que as diferenças de custo não são relevantes em relação a eficiência dos métodos. Evidentemente que no Paramento 2 o custo por metro quadrado é superior, pois exige a colocação de andaime. Para além disso, em grandes paramentos há uma preocupação associada à produção de resíduos lixiviados, o que poderá implicar um elevado custo de recolha e tratamento dos mesmos.

Posto isto, verifica-se que uma intervenção química com eficiência de 3 anos é mais económica, do que uma limpeza puramente mecânica, executada anualmente. Observa-se que os resultados dependem principalmente do rendimento de mão-de-obra das actividades executadas e da eficiência do método (durabilidade da intervenção).

6. CONCLUSÃO

O património edificado constitui uma série de inter-relações entre espécies biológicas, materiais e meio ambiente. O crescimento biológico torna partido dos edifícios se estes fornecerem as condições favoráveis para o seu desenvolvimento. A compreensão das condições favoráveis à ocorrência dos organismos é, desta forma, essencial para evitar a sua ocorrência e desenvolvimento.

A água é o factor essencial para o desenvolvimento e crescimento das estruturas biológicas e portanto é essencial para a presença desses agentes, princípio básico que deverá ser tido em conta na perspectiva da prevenção (o que poderá ser feito ao nível do projecto inicial ou das operações de intervenção). A revisão bibliográfica e as observações de campo desenvolvidas no âmbito do presente trabalho indicaram que as características da obra (aquilo que se poderá incluir dentro do que autores anteriores designaram por bioreceptividade estrutural) podem sobrepor-se aos às características de bioreceptividade do material.

Em termos de limpeza e prevenção da colonização biológica podem considerar-se duas estratégias distintas, uma das quais dirigidas à fase de projecto da obra e outra para a intervenções em obras existentes.

Com o interesse da durabilidade estética, a forma dos edifícios devem ser pensados de forma a não serem tão receptivos a esta patologia (colonização biológica). A tentativa de combate contra à colonização biológica pode começar por implementar táticas a nível de design, revestimentos, pormenores de construção que promovem o desenvolvimento da colonização biológica (por exemplo evitar juntas abertas que, como foi visível, promovem o desenvolvimento diferencial da colonização biológica), elementos construtivos de seccionamento do escoamento, não deixando arrastar nutrientes que se vão acumulando pela altura dos paramentos dos edifícios, entre outros. Se no passado não se projectava com a preocupação da bioreceptividade estrutural do edifício, então que no presente e futuro seja considerado na fase de

projecto. A interacção entre arquitectos, engenheiros e microbiologistas é essencial para reduzir a incidência de biodeterioração de imóveis e materiais de construção.

Em obras já existentes, poderão ser implementados planos de manutenção periódica para evitar a constituição de biofilmes que promovam o desenvolvimento de outros microrganismos, através de limpeza e aplicação de biocidas em locais estratégicos, possibilitando o efeito de curto-circuito. Desta forma evitar-se-á a constituição de revestimentos (por exemplo líquenes) que apresentem maiores dificuldades de limpeza e que impliquem a adopção de táticas de limpeza mais agressivas.

A preservação das obras requer um plano de manutenção constantes tendo em atenção os parâmetros do meio ambiente circundante e as características específicas da obra (nomeadamente em termos de morfologia das superfícies). A caracterização prévia da colonização existente (tipo e padrões de distribuição), para além de ser relevante para as opções de limpeza, poderá contribuir para avaliar os riscos existentes (nomeadamente em termos das distintas áreas dos elementos) e dessa forma influenciar as opções interventivas.

Existe uma variedade de métodos mecânicos, físicos, químicos e biológicos, para manutenção dos edifícios, e todos eles devem permitir obter um aspecto sem alterações dos suportes. Na avaliação das opções a tomar deverá considerar-se a facilidade de limpeza assim como a durabilidade da mesma.

Os ensaios experimentais realizados permitiram comparar a simples limpeza mecânica com a limpeza mecânica associada com produtos químicos, em condições que, com base nas observações anteriores, foram consideradas particularmente propícias ao desenvolvimento da colonização biológica em fachadas. Se bem que pontuais e com uma duração curta no espaço estes ensaios mostraram que, pelo menos a curto prazo, a simples limpeza mecânica permite obter resultados semelhantes. Todavia, foi admitido, na simulação de custos, uma maior durabilidade da limpeza com produtos químicos do que com simples procedimentos mecânicos. Poderá afirmar-se que o custo de uma simples limpeza mecânica é três vezes superior ao custo de uma limpeza

mecânica combinada com produtos químicos. Tal facto deve-se à diferente durabilidade que é admitida para os diferentes métodos (em termos de prevenção da colonização biológica).

A duração de uma intervenção também vai ser influenciada pela heterogeneidade da estrutura do edifício, pelo que as intervenções terão de ser projectadas caso-a-caso em função das peculiaridades da obra e das condições ambientais circundantes.

7. BIBLIOGRAFIA

- AIRES-BARROS, LUÍS; 2001 – *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias*. Instituto Português do Património Arquitectónico, Lisboa.
- ALLSOPP, DENNIS; SEAL, KENNETH; GAYLARD, CHRISTINE; 2004 – *Introduction to Biodeterioration*. Cambridge University Press, United States of America.
- ALBERTANO, PATRIZIA; BRUNO, LAURA; BELLEZZA, SIMONA; 2005 - *New strategies for the monitoring and control of cyanobacterial films on valuable lithic faces*. Plant Biosystems. International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology. Taylor Francis Group, London.
- ALVES, C.A.S.; 1997 - *Estudo da deterioração de materiais graníticos aplicados em monumentos da cidade de Braga (Norte de Portugal) : implicações na conservação do património construído*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Braga.
- BARBEROUSSE, HÉLÈNE; LOMBARDO, RUBEN J.; TELL, GUILLERMO; COUTÉ, ALAIN; 2006 – *Factores involved in the colonization of building façades by algae and cyanobacteria in France*. Biofouling. Taylor & Francis Group, London.
- BARBEROUSSE, HÉLÈNE; RUOT, BERTRAND; YÉPRÉMIAN, CLAUDE; BOULON GILBERT; 2007 - *An assessment of façade coatings against colonisation by aerial algae and cyanobacteria*. Building and Environment. Elsevier, New York.
- BEGONHA, ARLINDO; 2009 – *Mineralogical study of the deterioration of granite stones of two *Portuguese churches and characterization of the salt solutions in the porous network by the presence of diatoms*. Materials Characterization. Elsevier, New York.
- CANEVA, GIULIA; NUGARI, MARIA PIA; SALVADORI, ORNELLA; 2005 – *Plant Biology for Cultural Heritage: Biodeterioration and Conservation*. Getty Publications, Los Angeles.
- CATALDO, ROSELLA; DONNO, ANTONELLA; NUNZIO, GIORGIO; LEUCCI, GIANNI; NUZZO, LUIGIA; SIVIERO, STEFANO; 2005 - *Integrated methods for analysis of deterioration of cultural heritage: the Crypt of "Cattedrale di Otranto"*. Journal of Cultural Heritage.

- CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION; 1995 – Limpeza de Fachadas. Nota Informativa Técnica.
- CHAPARRO, VICTOR MENGUIANO; 2008 – *Factores Biológicos de Alteracion y Degradation en la Obra Civil*. Instituto del Patrimonio Histórico de Andalucía.
- CHAROLA, A.E.; ANJOS, M. VALE; RODRIGUES, J. DELGADO; BARREIRO, A.; 2007 - *Developing a maintenance plan for the stone sculptures and decorative elements in the garden of the National Palace of Queluz, Portugal*. Restor Build Monum.
- CHEW, M.Y.L.; TAN, S.S.; 2003 - *Facade staining arising from design features*. Construction and Building Materials. Elsevier, New York.
- CHEW, M.Y.L.; TAN, S.S.; KANG K.H; 2004 - *A technical evaluation index for curtain wall and cladding facades*. Journal Structural Survey.
- CÍRCULO DE LEITORES, LDA E LAROUSSE; 1994 - *Nova Enciclopédia Larousse*.
- DECRETO-LEI Nº 84/97 DE 16 DE ABRIL - *Protecção da segurança e da saúde dos trabalhadores contra os riscos da exposição a agentes biológicos durante o trabalho*. Diário da República.
- DECRETO-LEI Nº 290/2001 DE 16 DE NOVEMBRO, com as alterações introduzidas pelo DECRETO DE LEI Nº 305/2007 DE 24 DE AGOSTO - *Protecção da segurança e da saúde dos trabalhadores contra os riscos ligados à exposição a agentes químicos no local de trabalho*. Diário da República.
- EDWARDS, GABRIELLE I.; 1990 – *Biologia: Bactérias e Vírus, Protistas e Fungos, Vol III*. Publicações Europa-América.
- FERREIRA, N., DIAS, G., MEIRELES, C.A.P., SEQUEIRA BRAGA, M.A.: 2000 – *Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000*. Notícia explicativa da Folha 5-D, Braga. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.
- FLORES-COLEN, INÊS; BRITO, JORGE; FREITAS, VASCO P.; 2008 - *Stains in facades rendering – Diagnosis and maintenance techniques classification*. Construction and Building Materials. Elsevier, New York.

- FREITAS, A.J.A.; 2006 - *Colonização de muros antigos da cidade de Braga por Trachelium caeruleum L.: um estudo de bioreceptividade e adaptação*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho.
- GAYLARDE, C., CHRISTINE C.; MORTON, L H GLYN; 1999 - *Deteriogenic biofilms on buildings and their control: A review*. Biofouling. Taylor Francis Group, London.
- GAYLARDE, C.; GAYLARDE, P. M.; 2000 - *Biodeterioration of painted walls and its control* conference. First International RILEM Workshop on Microbial Impact on Building Materials, RILEM Publications.
- GCI-THE GETTY CONSERVATION INSTITUTE; IHAH-INSTITUTO HONDUREÑO DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA; 2006 - *The Hieroglyphic Stairway of Copán, Honduras: Study Results and Conservation Proposals*.
- GUILLITTE, O.; DREESSEN, R.; 1995 - *Laboratory chamber studies and petrographical analysis as bioreceptivity assessment tools of building material*. Science of The Total Environment. Elsevier, New York.
- HEIMANS, J.; 1954 – L'accessibilité, terme nouveau en phytogeographie. Vegetation.
- INMG - Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica; 1988 - *Normais Climatológicas da Região de "Entre Douro e Minho" e "Beira Litoral" Correspondentes a 1941-1970*. O Clima de Portugal. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa.
- INMG - Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica; 1988 - *Normais Climatológicas da Região de "Entre Douro e Minho" e "Beira Litoral" Correspondentes a 1950-1970*. O Clima de Portugal. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa.
- KUMAR, RAKESH; KUMAR, ANURADHA V.; 1999 - *Biodeterioration of Stone in Tropical Environments*. The Getty Conservation Institute.
- LAMENTI, GIOIA.; TIANO, PIERO.; TOMASELLI, LUISA; 2000 - *Biodeterioration of ornamental marble statues in the Boboli Garden (Florence, Italy)*. Journal of Applied Phycology. Springer, Netherlands.
- LIMA, A.S.; 1994 - *Hidrogeologia de regiões graníticas: (Braga - NW Portugal)*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho.

- LIMA, A.S.; 2001 - *Hidrogeologia de Terrenos Graníticos (Minho – Noroeste de Portugal)*. PhD thesis, Universidade do Minho.
- LISCI, MARCELO; MONTE, MICHELA; PACINI, ETTORE; 2003 – Lichens and higher plants on stone: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation*. Elsevier, New York.
- MAGALHÃES, S.M.TL.; 2000 – *Biodeterioração de um monumento da cidade de Braga: estudo microbiológico da pedra granítica*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho.
- MANSCH R.; BOCK, E. 1996 - *Simulated chemical and microbiological weathering of natural stone compared to data from outdoor exposure experiments*. *Biodeterioration and biodegradation*. VCH Verlagsgesellschaft.
- MATIAS, J.M.S.; 2001 – *Padrões de Deterioração em Monumentos e Edifícios Graníticos da Cidade de Braga (NW de Portugal) – Durabilidade dos Granitos em Obras de Arquitectura*. Universidade do Minho.
- NASCOMBENE, JURI; SALVADORI, ORNELLA; 2008 - *Lichen recolonization on restored calcareous statues of three Venetian villas*. *International Biodeterioration & Biodegradation*. Elsevier, New York.
- NASCOMBENE, JURI; SALVADORI, ORNELLA, NIMIS, PIER LUIGI; 2009 - *Monitoring lichen recolonization on a restored calcareous statue*. *Science of the Total Environment*. Elsevier, New York.
- NETO, N.M.L.; 2008 - *Sistema de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em revestimentos em pedra natural*. Dissertação mestrado. Instituto Superior Técnico.
- OLIVEIRA, E.P.; 1999 - *Braga: percursos e memórias de granito e oiro*. Campo das Letras.
- ORTEGA-CALVO, J. J.; ARIÑO, X.; SAIZ-JIMENEZ, C.; 1995 - *Factors affecting the weathering and colonization of monuments by phototrophic microorganisms*. *Science of the Total Environment*. Elsevier, New York.
- PAZ BRANCO, J.; 1983 – *Rendimentos de Mão-de-obra, Materiais e Equipamentos (Tabelas)*. LNEC, Lisboa.
- PERARA-ZURITA, Y.; CULTRONE, G.; CASTILLO, P. SÁNCHEZ; SEBASTIÁN, E.; BOLÍVAR, F.C. – 2005 - *Microalgae associated with deteriorated stonework of the*

- fountain of Bibatauin in Granada, Spain*. Internacional Biodeterioration & Biodegradation. Elsevier, New York.
- PERRY IV, THOMAS D.; MCNAMARA, J.; MITCHELL, RALPH; 2003 – *Biodeterioration of Stone*. In Scientific Examination of Art: Modern Techniques in Conservation and Analysis. National Academy of Sciences, Washington, D.C.
 - PRICE, C.A.; 1996 - *Stone Conservation An Overview of Current Research*.
 - PRIETO, B.; SILVA, B.; AIRA, N.; ÁLVAREZ, L.; 2006 – *Toward a definition of a bioreceptivity index for granitic rocks: Perception of the change in appearance of the rock*. International Biodeterioration & Biodegradation. Elsevier, New York.
 - PRIETO-LAMAS, B.; RIVAS BREA, M.T.; SILVA HERMO, B.M; 1995 – Colonization by lichens of granite churches in Galicia (northwest Spain). *Science of the Total Environment*. Elsevier, New York.
 - PURVIS, WILLIAM; 2000 – *Lichens*. Natural Historic Museum.
 - REALINI, MARCO; 2004 – *Le invasioni barbariche: la colonizzazione microbica del patrimonio culturale*. Istituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali.
 - SEQUEIRA BRAGA, M.A.; 1988 – *Arenas e depósitos associados da bacia de drenagem do rio Cávado (Portugal). Contribuição para o estudo da arenização*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho.
 - SILVA, B.; PRIETO, B.; RIVAS, T.; SANCHEZ-BIEZMA, M. J.; PAZ, G.; CARBALLAL, R.; 1997 - *Rapid biological colonization of a granitic building by lichens*. International Biodeterioration & Biodegradation. Elsevier, New York.
 - SUIHKO, MAIJA-LIISA; ALAKOMI, HANNA-LEENA; GORBUSHINA, ANNA; FORTUNE, IRENE; MARQUARDT, JURGEN; SAARELA, MARIA; 2007 - *Characterization of aerobic bacterial and fungal microbiota on surfaces of historic Scottish monument*. Systematic and Applied Microbiology. Elsevier, New York.
 - TERREROS, C.C.; ALCALDE, M.; 1996 – *Investigation and Treatment of the Portal of the San Telmo Palace in Seville*. Studies in Conservation.

- TIANO, PIERO; 2000 – *Biodegradation of Cultural Heritage: Decay Mechanisms and Control Methods*. CNR - Centro di studio sulle "Cause Deterioramento e Metodi Conservazione Opere d'Arte". Italy, Firenze.
- URQUHART, DENNIS; YOUNG, MAUREEN; SONJA CAMERON; 1997 – *Stonecleaning of Granite Buildings*. Technical Conservation, Research and Education Division, Historic Scotland.
- VILES, HEATHER A. VILES; GORBUSHINA, ANNA A.; 2003 - *Soiling and microbial colonisation on urban roadside limestone: a three year study in Oxford, England*. Building and Environment. Elsevier, New York.
- WARSCHEID, TH.; BECKER, TH.; BRAAMS, J.; BRUGGERHO, S.; GEHRMANN, C.; KRUMBEIN, W.E.; PETERSEN, K.; 1993 - *Studies on the temporal development of microbial infection of different types of sedimentary rocks and its effect on the alteration of the physico-chemical properties in building materials*. Conservation of Stone and Other Materials. Spon, London.
- WARSCHEID, TH.; BRAAMS, J.; 2000 - *Biodeterioration of stone: a review*. International Biodeterioration & Biodegradation. Elsevier, New York.
- WARSCHEID, TH.; PETERSEN, K.; KRUMBEIN, W.E.; 1988 - *Effect of Cleaning on the Distribution of Microorganisms on Rock Surfaces*. Biodeterioration 7. Elsevier, New York.
- WWW.EARTH.GOOGLE.COM
- WWW.MAPS.GOOGLE.PT
- YOUNG, M. E.; ALAKOMI, H.-L.; FORTUNE, I.; GORBUSHINA, A. A.; KRUMBEIN, W. E.; MAXWELL, I.; MCCULLAGH, C.; ROBERTSON, P.; SAARELA, M.; J. VALERO; VENDRELL, M.; 2008 - *Development of a biocidal treatment regime to inhibit biological growths on cultural heritage: BIODAM*. Journal Environmental Geology. Springer, Berlin.
- YOUNG, M. E.; URQUHART, D. C. M.; 1998 - *Algal growth on building sandstones: effects of chemical stone cleaning methods*. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology. Geological Society of London.